

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7416069号
(P7416069)

(45)発行日 令和6年1月17日(2024.1.17)

(24)登録日 令和6年1月9日(2024.1.9)

(51)国際特許分類

F I

B 2 3 K 26/00 (2014.01)

B 2 3 K 26/082 (2014.01)

B 2 3 K 26/08 (2014.01)

B 2 3 K 26/00 M

B 2 3 K 26/08 F

請求項の数 46 (全69頁)

(21)出願番号	特願2021-537539(P2021-537539)	(73)特許権者	000004112
(86)(22)出願日	令和1年8月8日(2019.8.8)		株式会社ニコン
(86)国際出願番号	PCT/JP2019/031480		東京都港区港南二丁目15番3号
(87)国際公開番号	WO2021/024480	(74)代理人	100104765
(87)国際公開日	令和3年2月11日(2021.2.11)		弁理士 江上 達夫
審査請求日	令和4年6月8日(2022.6.8)	(72)発明者	佐藤 真路
			東京都港区港南二丁目15番3号 株式
			会社ニコン内
		審査官	黒石 孝志

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 加工装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

加工光源からの加工光を物体に照射することで前記物体を加工する加工装置であって、
前記加工光源からの前記加工光と、計測光と、を合成する合成光学系と、
前記合成光学系を経た、前記加工光と、前記計測光と、を前記物体に照射する照射光学系と、
前記合成光学系を経た、前記加工光と、前記計測光と、を偏向して、前記物体上での前記加工光の照射位置と、前記物体上での前記計測光の照射位置と、を変更する照射位置変更光学系と、
前記物体へ照射された前記計測光によって生じる光の少なくとも一部を、前記照射光学系及び前記合成光学系を介して検出する検出器と
を備え、
前記検出器の検出結果に基づいて前記物体上での前記加工光の前記照射位置を前記照射位置変更光学系で変更する
加工装置。

【請求項2】

前記照射位置変更光学系は、前記物体上での前記加工光の前記照射位置と前記物体上での前記計測光の前記照射位置とを連動して変更する
請求項1に記載の加工装置。

【請求項3】

10

前記照射位置変更光学系は、前記合成光学系と前記照射光学系との間に配置される
請求項 1 又は 2 に記載の加工装置。

【請求項 4】

前記照射位置変更光学系は、前記加工光の射出角度と前記計測光の射出角度とを変更する
請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の加工装置。

【請求項 5】

前記照射光学系には、前記加工光と前記計測光とが入射し、
前記照射位置変更光学系による前記加工光の射出角度と前記計測光の射出角度との変更
により、前記物体上での前記加工光の前記照射位置と前記物体上での前記計測光の前記照
射位置とが変更される

10

請求項 4 に記載の加工装置。

【請求項 6】

前記計測光を供給する計測光源を備え、
前記合成光学系には、前記計測光源からの前記計測光が入射する
請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の加工装置。

【請求項 7】

前記計測光を第 1 計測光とすると、前記照射光学系には、前記第 1 計測光の前記物体
への照射によって前記物体から生じる第 2 計測光の少なくとも一部が入射する
請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の加工装置。

【請求項 8】

20

前記照射光学系に入射した前記第 2 計測光は、前記合成光学系を経由して射出される
請求項 7 に記載の加工装置。

【請求項 9】

前記合成光学系から射出される前記第 2 計測光は、前記第 2 計測光を検出する検出器へ
向かう

請求項 7 又は 8 に記載の加工装置。

【請求項 10】

前記検出器は、前記第 1 計測光の一部から生成される参照光と、前記第 2 計測光の少な
くとも一部との干渉光を検出する

請求項 9 に記載の加工装置。

30

【請求項 11】

前記計測光は、光コム光源からの光を含む
請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の加工装置。

【請求項 12】

前記計測光は、周波数軸上で等間隔に並んだ周波数成分を含む光を含む
請求項 1 から 11 のいずれか一項に記載の加工装置。

【請求項 13】

前記加工光は、パルス光を含む
請求項 1 から 12 のいずれか一項に記載の加工装置。

【請求項 14】

40

前記計測光は、パルス光を含み、

前記計測光の前記パルス光の前記物体への照射時期と、前記加工光の前記パルス光の前
記物体への照射時期とは異なる

請求項 13 に記載の加工装置。

【請求項 15】

前記計測光は、パルス光を含み、

前記計測光の前記パルス光の前記物体への照射時期と、前記加工光の前記パルス光の前
記物体への照射時期とは重ならない

請求項 13 又は 14 に記載の加工装置。

【請求項 16】

50

前記計測光は複数のパルス光を含み、
前記加工光は複数のパルス光を含み、
前記加工光の前記複数のパルス光のうち少なくとも１つのパルス光の前記物体への照射時期は、前記計測光の前記複数のパルス光のうち第１計測パルス光の前記物体への照射時期と、前記計測光の前記複数のパルス光のうち前記第１計測パルス光とは異なる時期に前記物体に照射される第２計測パルス光の前記物体への照射時期との間である

請求項１３から１５のいずれか一項に記載の加工装置。

【請求項１７】

前記計測光を第１計測光とすると、前記照射光学系には、前記第１計測光によって生じる第２計測光の少なくとも一部が入射する

10

請求項１から１６のいずれか一項に記載の加工装置。

【請求項１８】

前記照射光学系に入射した前記第２計測光は、前記合成光学系を経由して射出される

請求項１７に記載の加工装置。

【請求項１９】

前記合成光学系から射出される前記第２計測光は、前記第２計測光を検出する前記検出器へ向かう

請求項１７又は１８に記載の加工装置。

【請求項２０】

前記計測光を第１計測光とすると、前記第１計測光の前記物体への照射によって前記物体から生じる第２計測光の少なくとも一部が前記照射光学系を介して前記検出器に入射し、

20

前記検出器の検出結果は、前記加工装置を制御する制御装置に出力される

請求項１から１９のいずれか一項に記載の加工装置。

【請求項２１】

前記加工光を前記物体に向けて射出する加工光学系と、前記加工光学系と前記物体との相対位置を変更する位置変更装置とを更に備え、

前記制御装置は、前記検出器の検出結果に基づいて、前記位置変更装置を制御する

請求項２０に記載の加工装置。

【請求項２２】

30

前記照射光学系は、前記計測光及び前記加工光のそれぞれを前記物体に向けて射出し、
前記加工装置は、前記照射光学系と前記物体との相対位置を変更する位置変更装置を更に備え、

前記制御装置は、前記検出器の検出結果に基づいて、前記位置変更装置を制御する

請求項２０又は２１に記載の加工装置。

【請求項２３】

前記加工装置を制御する制御装置は、前記検出器の検出結果に基づいて、前記物体上の平面において前記加工光の前記照射位置を変更すべく前記照射位置変更光学系を制御する

請求項１から２２のいずれか一項に記載の加工装置。

【請求項２４】

40

前記加工光の波長と前記計測光の波長とは異なる

請求項１から２３のいずれか一項に記載の加工装置。

【請求項２５】

前記計測光の波長は、前記加工光の波長よりも短い

請求項２４に記載の加工装置。

【請求項２６】

前記照射光学系からは収斂状態の前記加工光及び計測光が射出される

請求項１から２５に記載の加工装置。

【請求項２７】

前記照射光学系から前記物体へ向かう前記計測光の開き角は、前記照射光学系から前記

50

物体へ向かう前記加工光の開き角よりも大きい

請求項 26 に記載の加工装置。

【請求項 28】

前記照射光学系に入射する前記計測光の光束のサイズは、前記照射光学系に入射する前記加工光の光束のサイズよりも大きい

請求項 26 又は 27 に記載の加工装置。

【請求項 29】

前記合成光学系から前記物体へ至る前記加工光の光路と、前記合成光学系から前記物体へ至る前記計測光の光路とは少なくとも部分的に重複する

請求項 1 から 28 のいずれか一項に記載の加工装置。

10

【請求項 30】

前記合成光学系から前記物体へ至る前記加工光の光路と、前記合成光学系から前記物体へ至る前記計測光の光路とは少なくとも部分的に離れている

請求項 1 から 29 のいずれか一項に記載の加工装置。

【請求項 31】

前記合成光学系は、前記合成光学系に対して異なる方向からそれぞれ入射する前記計測光と前記加工光とを、同じ方向に向けて射出する

請求項 1 から 30 のいずれか一項に記載の加工装置。

【請求項 32】

前記照射光学系は、交換可能である

20

請求項 1 から 31 のいずれか一項に記載の加工装置。

【請求項 33】

交換可能な前記照射光学系は、前記照射光学系の入射側の光軸に対する前記計測光の射出方向が異なる複数の照射光学系候補のうちの一つの照射光学系候補である

請求項 32 に記載の加工装置。

【請求項 34】

交換可能な前記照射光学系は、前記合成光学系からの前記計測光の射出位置から前記照射光学系からの前記計測光の射出位置までの距離が異なる複数の照射光学系候補のうちの一つの照射光学系候補である

請求項 32 又は 33 に記載の加工装置。

30

【請求項 35】

前記照射光学系は、複数の前記計測光を前記物体に向けて射出する

請求項 1 から 34 のいずれか一項に記載の加工装置。

【請求項 36】

前記照射光学系は、前記複数の計測光を前記物体の異なる位置に向けてそれぞれ射出する

請求項 35 に記載の加工装置。

【請求項 37】

前記複数の計測光のうちの第 1 の計測光は、第 1 の用途で用いられ、

前記複数の計測光のうちの前記第 1 の計測光とは異なる第 2 の計測光は、前記第 1 の用途とは異なる第 2 の用途で用いられる

40

請求項 35 又は 36 に記載の加工装置。

【請求項 38】

前記第 1 の用途は、前記物体の形状を特定するための用途を含み、

前記第 2 の用途は、前記物体と前記照射光学系との相対位置を特定するための用途を含む

請求項 37 に記載の加工装置。

【請求項 39】

前記複数の計測光のうちの第 1 の計測光の検出結果に基づいて、前記物体の形状を特定し、前記複数の計測光のうちの第 2 の計測光の検出結果に基づいて、前記形状が特定された前記物体の所望位置に前記加工光が照射されるように、前記物体と前記照射光学系との相対位置を変更する位置変更装置を制御する制御装置を更に備える

50

請求項 3 5 から 3 8 のいずれか一項に記載の加工装置。

【請求項 4 0】

前記物体と前記照射光学系との相対位置を変更する位置変更装置を更に備える

請求項 1 から 3 9 のいずれか一項に記載の加工装置。

【請求項 4 1】

前記位置変更装置は、

前記物体の一部との相対的な位置関係が変更可能な可動部材と、

前記可動部材と前記照射光学系との相対的な位置関係が変更可能になるように、前記可動部材と前記照射光学系とを接続する接続装置と

を備え、

前記接続装置は、前記可動部材と前記照射光学系とのうち少なくとも一方を移動させる駆動部材と、前記可動部材と前記照射光学系とを結合する弾性部材とを備える

請求項 4 0 に記載の加工装置。

【請求項 4 2】

前記位置変更装置は、前記物体を介した前記計測光の検出結果に基づいて、前記照射光学系と前記物体との相対位置を変更する

請求項 4 1 に記載の加工装置。

【請求項 4 3】

前記照射光学系と前記物体との相対位置を計測する位置計測装置を備え、

前記位置変更装置は、前記位置計測装置の計測結果に基づいて、前記照射光学系と前記物体との相対位置を変更する

請求項 4 1 又は 4 2 に記載の加工装置。

【請求項 4 4】

前記照射光学系と前記物体との相対位置を計測する位置計測装置を備える

請求項 1 から 4 3 のいずれか一項に記載の加工装置。

【請求項 4 5】

前記位置計測装置は、前記物体の表面を撮像する撮像装置を含む

請求項 4 3 又は 4 4 に記載の加工装置。

【請求項 4 6】

加工光源からの加工光を物体に照射することで前記物体を加工する加工方法であって、

前記加工光源からの前記加工光と、計測光とを合成光学系を用いて合成することと、

前記合成光学系を経て入射した、前記加工光と、前記計測光と、を偏向して、前記物体上での前記加工光の照射位置と、前記物体上での前記計測光の照射位置と、を照射位置変更光学系で変更しつつ、前記物体に照射光学系を介して照射することと、

前記物体へ照射された前記計測光によって生じる光の少なくとも一部を、前記照射光学系及び前記合成光学系を介して検出することと、

前記物体から生じる光の検出結果に基づいて前記物体上での前記加工光の前記照射位置を前記照射位置変更光学系で変更することと

を含む加工方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、加工光で物体を加工可能な加工装置の技術分野に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

物体を加工可能な加工装置として、特許文献 1 には、物体の表面に加工光を照射して構造を形成する加工装置が記載されている。この種の加工装置では、物体を適切に加工することが要求されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 3 】

【文献】米国特許第 4 , 9 9 4 , 6 3 9 号

【発明の概要】

【 0 0 0 4 】

第 1 の態様によれば、加工光源からの加工光を物体に照射することで前記物体を加工する加工装置であって、前記加工光源からの前記加工光と、パルス光を含む計測光とを合成する合成光学系と、前記合成光学系を介した前記加工光及び前記計測光を前記物体に照射する照射光学系と、前記合成光学系を介した加工光及び前記計測光が入射し、前記物体上での前記加工光の照射位置と前記物体上での前記計測光の照射位置とを変更する照射位置変更光学系とを備える加工装置が提供される。

10

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 5 】

【図 1】図 1 は、第 1 実施形態の加工システムの全体構造を模式的に示す断面図である。

【図 2】図 2 は、第 1 実施形態の加工システムのシステム構成を示すシステム構成図である。

【図 3】図 3 は、第 1 実施形態の加工ヘッドの構造を示す断面図である。

【図 4】図 4 は、合成光学系とワークとの間における加工光の光路と計測光の光路とを部分的に示す断面図である。

【図 5】図 5 は、加工光が照射される被照射領域と計測光が照射される被照射領域とを示す平面図である。

20

【図 6】図 6 (a) から図 6 (c) のそれぞれは、加工光の照射タイミングと計測光の照射タイミングとを示すタイミングチャートである。

【図 7】図 7 は、合成光学系とワークとの間における加工光の光路と計測光の光路とを部分的に示す断面図である。

【図 8】図 8 は、加工光が照射される被照射領域と計測光が照射される被照射領域とを示す平面図である。

【図 9】図 9 は、合成光学系とワークとの間における加工光の光路と計測光の光路とを部分的に示す断面図である。

【図 1 0】図 1 0 は、検出器に入射する計測光と、検出器が検出した干渉光とを示すタイミングチャートである。

30

【図 1 1】図 1 1 は、ヘッド駆動系の構造を示す断面図である。

【図 1 2】図 1 2 は、ヘッド駆動系が備える第 2 駆動系の構造を示す断面図である。

【図 1 3】図 1 3 は、第 2 実施形態の加工ヘッドの構造を示す断面図である。

【図 1 4】図 1 4 は、第 3 実施形態の加工ヘッドの構造を示す断面図である。

【図 1 5】図 1 5 は、第 3 実施形態の加工ヘッドの構造の他の例を示す断面図である。

【図 1 6】図 1 6 は、第 3 実施形態の加工ヘッドの構造の他の例を示す断面図である。

【図 1 7】図 1 7 は、第 3 実施形態の加工ヘッドの構造の他の例を示す断面図である。

【図 1 8】図 1 8 は、第 3 実施形態の加工ヘッドの構造の他の例を示す断面図である。

【図 1 9】図 1 9 は、第 4 実施形態の加工ヘッドの構造を示す断面図である。

【図 2 0】図 2 0 は、第 5 実施形態の加工ヘッドの構造を示す断面図である。

40

【図 2 1】図 2 1 は、第 1 の光学系候補が共通光学系として取り付けられた加工ヘッドを示す断面図である。

【図 2 2】図 2 2 は、第 2 の光学系候補が共通光学系として取り付けられた加工ヘッドを示す断面図である。

【図 2 3】図 2 3 は、第 3 の光学系候補が共通光学系として取り付けられた加工ヘッドを示す断面図である。

【図 2 4】図 2 4 は、第 7 実施形態の加工システムの全体構造を模式的に示す断面図である。

【図 2 5】図 2 5 は、第 8 実施形態の加工ヘッドの構造を示す断面図である。

【図 2 6】図 2 6 は、第 9 実施形態の加工システムの全体構造を模式的に示す断面図であ

50

る。

【図 2 7】図 2 7 は、第 9 実施形態の加工システムのシステム構成を示すシステム構成図である。

【図 2 8】図 2 8 は、第 9 実施形態の加工ヘッドの構造を示す断面図である。

【図 2 9】図 2 9 は、第 9 実施形態の計測ヘッドの構造を示す断面図である。

【図 3 0】図 3 0 は、第 1 0 実施形態の加工システムの全体構造を模式的に示す断面図である。

【図 3 1】図 3 1 は、第 1 1 実施形態の加工システムの全体構造を模式的に示す断面図である。

【図 3 2】図 3 2 は、第 1 2 実施形態の加工システムの全体構造を模式的に示す断面図である。

10

【図 3 3】図 3 3 は、エンドエフェクタを備える加工装置の構造の一例を示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0006】

以下、図面を参照しながら、加工装置、加工部材、ロボットシステム及び測定装置の実施形態について説明する。以下では、加工光 E L を用いてワーク W を加工する加工システム S Y S を用いて、加工装置、加工部材、ロボットシステム及び測定装置の実施形態を説明する。但し、本発明が以下に説明する実施形態に限定されることはない。

【0007】

20

また、以下の説明では、互いに直交する X 軸、Y 軸及び Z 軸から定義される X Y Z 直交座標系を用いて、加工システム S Y S を構成する各種構成要素の位置関係について説明する。尚、以下の説明では、説明の便宜上、X 軸方向及び Y 軸方向のそれぞれが水平方向（つまり、水平面内の所定方向）であり、Z 軸方向が鉛直方向（つまり、水平面に直交する方向であり、実質的には上下方向）であるものとする。また、X 軸、Y 軸及び Z 軸周りの回転方向（言い換えれば、傾斜方向）を、それぞれ、X 方向、Y 方向及び Z 方向と称する。ここで、Z 軸方向を重力方向としてもよい。また、X Y 平面を水平方向としてもよい。

【0008】

（1）第 1 実施形態の加工システム S Y S a

30

初めに、第 1 実施形態の加工システム S Y S（以降、第 1 実施形態の加工システム S Y S を、“加工システム S Y S a”と称する）について説明する。

【0009】

（1-1）加工システム S Y S a の構造

初めに、図 1 及び図 2 を参照しながら、第 1 実施形態の加工システム S Y S a の構造について説明する。図 1 は、第 1 実施形態の加工システム S Y S a の構造を模式的に示す断面図である。図 2 は、第 1 実施形態の加工システム S Y S a のシステム構成を示すシステム構成図である。

【0010】

図 1 及び図 2 に示すように、加工システム S Y S a は、加工装置 1 と、ステージ装置 3 と、制御装置 5 とを備えている。加工装置 1 及びステージ装置 3 は、筐体 4 に収容されている。但し、加工装置 1 及びステージ装置 3 は、筐体 4 に収容されていなくてもよい。つまり加工システム S Y S a は、加工装置 1 及びステージ装置 3 を収容する筐体 4 を備えていなくてもよい。

40

【0011】

加工装置 1 は、制御装置 5 の制御下で、ワーク W を加工可能である。ワーク W は、例えば、金属であってもよいし、合金（例えば、ジュラルミン等）であってもよいし、半導体（例えば、シリコン）であってもよいし、樹脂（例えば、CFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastic）や塗料（一例として基材に塗布された塗料層）等）であってもよいし、ガラスであってもよいし、それ以外の任意の材料から構成

50

される物体であってもよい。

【 0 0 1 2 】

加工装置 1 は、ワーク W を加工するために、ワーク W に対して加工光 E L を照射する。加工光 E L は、ワーク W に照射されることでワーク W を加工可能である限りは、どのような種類の光であってもよい。第 1 実施形態では、加工光 E L がレーザ光である例を用いて説明を進めるが、加工光 E L は、レーザ光とは異なる種類の光であってもよい。更に、加工光 E L の波長は、ワーク W に照射されることでワーク W を加工可能である限りは、どのような波長であってもよい。例えば、加工光 E L は、可視光であってもよいし、不可視光（例えば、赤外光及び紫外光の少なくとも一方等）であってもよい。加工光 E L は、パルス光を含むが、パルス光を含んでいなくてもよい。言い換えると、加工光 E L は、連続光であってもよい。

10

【 0 0 1 3 】

加工装置 1 は、ワーク W に加工光 E L を照射して、ワーク W の一部を除去する除去加工（典型的には、切削加工又は研削加工）を行ってもよい。除去加工を行う場合には、加工装置 1 は、リブレット構造をワーク W 上に形成してもよい。リブレット構造は、ワーク W の表面の流体に対する抵抗（特に、摩擦抵抗、乱流摩擦抵抗）を低減可能な構造である。リブレット構造は、例えば、ワーク W の表面に沿った第 1 の方向（例えば、Y 軸方向）に沿って延びる溝が、ワーク W の表面に沿っており且つ第 1 の方向に交差する第 2 方向（例えば、X 軸方向）に沿って複数配列された構造を含んでいてもよい。

【 0 0 1 4 】

20

加工装置 1 は、除去加工に加えて又は代えて、ワーク W に加工光 E L を照射して、ワーク W に新たな構造物を付加する付加加工を行ってもよい。この場合、加工装置 1 は、付加加工を行うことで、上述したリブレット構造をワーク W の表面に形成してもよい。加工装置 1 は、除去加工及び付加加工の少なくとも一方に加えて又は代えて、ワーク W に加工光 E L を照射して、ワーク W の表面に所望のマークを形成するマーキング加工を行ってもよい。

【 0 0 1 5 】

加工装置 1 は更に、制御装置 5 の制御下で、ワーク W を計測可能である。加工装置 1 は、ワーク W を計測するために、ワーク W に対して計測光 M L を照射する。計測光 M L は、ワーク W に照射されることでワーク W を計測可能である限りは、どのような種類の光であってもよい。第 1 実施形態では、計測光 M L がレーザ光である例を用いて説明を進めるが、計測光 M L は、レーザ光とは異なる種類の光であってもよい。更に、計測光 M L の波長は、ワーク W に照射されることでワーク W を計測可能である限りは、どのような波長であってもよい。例えば、計測光 M L は、可視光であってもよいし、不可視光（例えば、赤外光及び紫外光の少なくとも一方等）であってもよい。計測光 M L は、パルス光を含む。

30

【 0 0 1 6 】

計測光 M L の波長は、加工光 E L の波長と異なってもよい。例えば、計測光 M L の波長は、加工光 E L の波長よりも短くてもよい。一例として、計測光 M L として 266 nm 又は 355 nm の波長帯の光が用いられ、加工光 E L として 532 nm、1 μ m 又は 10 μ m の波長帯の光が用いられてもよい。この場合、ワーク W 上での計測光 M L のスポット径が、ワーク W 上での加工光 E L のスポット径よりも小さくなる。その結果、加工光 E L による加工分解能よりも、計測光 M L による計測分解能が高くなる。但し、計測光 M L の波長は、加工光 E L の波長よりも短くなくてもよい。計測光 M L の波長は、加工光 E L の波長と同じであってもよい。

40

【 0 0 1 7 】

加工装置 1 は、ワーク W の状態を計測可能であってもよい。ワーク W の状態は、ワーク W の位置を含んでいてもよい。ワーク W の位置は、ワーク W の表面の位置を含んでいてもよい。ワーク W の表面の位置は、ワーク W の表面を細分化した各面部分の X 軸方向、Y 軸方向及び Z 軸方向の少なくとも一つにおける位置を含んでいてもよい。ワーク W の状態は、ワーク W の形状（例えば、3 次元形状）を含んでいてもよい。ワーク W の形状は、ワー

50

クWの表面の形状を含んでいてもよい。ワークWの表面の形状は、上述したワークWの表面の位置に加えて又は代えて、ワークWの表面を細分化した各面部分の向き（例えば、各面部分の法線の向きであり、X軸、Y軸及びZ軸の少なくとも一つに対する各面部分の傾斜量と実質的に等価）を含んでいてもよい。ワークWの状態は、ワークWのサイズ（例えば、X軸方向、Y軸方向及びZ軸方向の少なくとも一つにおけるサイズ）を含んでいてもよい。

【0018】

ワークWを加工及び計測するために、加工装置1は、ワークWに対して加工光EL及び計測光MLのそれぞれを射出する加工ヘッド11と、加工ヘッド11を移動させるヘッド駆動系12とを備える。加工ヘッド11は、ワークWに対して加工光EL及び計測光MLのそれぞれを射出することが可能な任意の部材を意味する。このため、加工ヘッド11は、ヘッドという文言を含んでいるものの、必ずしも何かの部材の先端に取り付けられる部材を意味していなくてもよい。このため、加工ヘッド11は、加工部材と称されてもよい。更に、加工ヘッド11は、加工光源111と、加工光学系112と、計測光源113と、計測光学系114と、合成光学系115と、共通光学系116とを備える。尚、加工ヘッド11及びヘッド駆動系12の構造については、後に詳述する。

10

【0019】

ヘッド駆動系12は、X軸方向、Y軸方向、Z軸方向、X方向、Y方向及びZ方向の少なくとも一つに沿って加工ヘッド11を移動させる。加工ヘッド11が移動すると、ステージ32（更には、ステージ32に載置されたワークW）と加工ヘッド11との位置関係が変わる。つまり、ステージ32が移動すると、ステージ32及びワークWと加工ヘッド11との相対位置が変わる。従って、ステージ32を移動させることは、ステージ32及びワークWと加工ヘッド11との位置関係を変更することと等価である。更には、ステージ32及びワークWと加工ヘッド11との位置関係が変わると、ステージ32及びワークWと加工ヘッド11が備える各光学系（つまり、加工光学系112、計測光学系114、合成光学系115及び共通光学系116の少なくとも一つ）との位置関係が変わる。従って、加工ヘッド11を移動させることは、ステージ32及びワークWと加工ヘッド11が備える各光学系との位置関係を変更することと等価である。更には、ステージ32及びワークWと加工ヘッド11との位置関係が変わると、ステージ32及びワークWと加工ヘッド11の筐体117との位置関係が変わる。従って、加工ヘッド11を移動させることは、ステージ32及びワークWと加工ヘッド11の筐体117との位置関係を変更することと等価である。更には、ステージ32及びワークWと加工ヘッド11との位置関係が変わると、ワークW上での加工光EL及び計測光MLのそれぞれの照射位置が変わる。従って、加工ヘッド11を移動させることは、ワークW上での加工光EL及び計測光MLのそれぞれの照射位置を変更することと等価である。

20

30

【0020】

ステージ装置3は、定盤31と、ステージ32とを備える。定盤31は、筐体4の底面上（或いは、筐体4が載置される床面等の支持面上）に配置される。定盤31上には、ステージ32が配置される。筐体4の底面或いは筐体4が載置される床面等の支持面と定盤31との間には、定盤31の振動のステージ32への伝達を低減するための不図示の防振装置が設置されていてもよい。更に、定盤31上には、加工装置1を支持する不図示の支持フレームが配置されていてもよい。

40

【0021】

ステージ32上には、ワークWが載置される。ステージ32は、載置されたワークWを保持してもよい。例えば、ステージ32は、ワークWを真空吸着及び/又は静電吸着することで、ワークWを保持してもよい。或いは、ステージ32は、載置されたワークWを保持しなくてもよい。

【0022】

ステージ32は、制御装置5の制御下で、ワークWが載置されたまま定盤31上を移動可能である。ステージ32は、定盤31及び加工装置1の少なくとも一方に対して移動可

50

能である。ステージ 3 2 は、X 軸方向及び Y 軸方向のそれぞれに沿って移動可能である。この場合、ステージ 3 2 は、X Y 平面に平行なステージ走り面（移動面）に沿って移動可能である。ステージ 3 2 は更に、Z 軸方向、X 方向、Y 方向及び Z 方向の少なくとも一つに沿って移動可能であってもよい。ステージ 3 2 を移動させるために、ステージ装置 3 は、ステージ駆動系 3 3 を備えている。ステージ駆動系 3 3 は、例えば、任意のモータ（例えば、リニアモータ等）を用いて、ステージ 3 2 を移動させる。更に、ステージ装置 3 は、ステージ 3 2 の位置を計測するためステージ位置計測器を備えていてもよい。ステージ位置計測器は、例えば、エンコーダ及びレーザ干渉計のうちの少なくとも一方を含んでいてもよい。

【0023】

ステージ 3 2 が移動すると、ステージ 3 2（更には、ステージ 3 2 に載置されたワーク W）と加工ヘッド 1 1 との位置関係が変わる。つまり、ステージ 3 2 が移動すると、加工ヘッド 1 1 とステージ 3 2 及びワーク W との相対位置が変わる。従って、ステージ 3 2 を移動させることは、ステージ 3 2 及びワーク W と加工ヘッド 1 1 との位置関係を変更することと等価である。更には、ステージ 3 2 及びワーク W と加工ヘッド 1 1 との位置関係が変わると、ステージ 3 2 及びワーク W と加工ヘッド 1 1 の筐体 1 1 7 との位置関係が変わる。従って、ステージ 3 2 を移動させることは、ステージ 3 2 及びワーク W と加工ヘッド 1 1 の筐体 1 1 7 との位置関係を変更することと等価である。更には、ステージ 3 2 及びワーク W と加工ヘッド 1 1 との位置関係が変わると、ステージ 3 2 及びワーク W と加工ヘッド 1 1 が備える各光学系との位置関係が変わる。従って、ステージ 3 2 を移動させることは、ステージ 3 2 及びワーク W と加工ヘッド 1 1 が備える各光学系との位置関係を変更することと等価である。更には、ステージ 3 2 及びワーク W と加工ヘッド 1 1 との位置関係が変わると、ワーク W 上での加工光 E L 及び計測光 M L のそれぞれの照射位置が変わる。従って、ステージ 3 2 を移動させることは、ワーク W 上での加工光 E L 及び計測光 M L のそれぞれの照射位置を変更することと等価である。

【0024】

制御装置 5 は、加工システム S Y S a の動作を制御する。例えば、制御装置 5 は、ワーク W の加工条件を設定すると共に、設定した加工条件に従ってワーク W が加工されるように加工装置 1 及びステージ装置 3 を制御する。例えば、制御装置 5 は、ワーク W の計測条件を設定すると共に、設定した計測条件に従ってワーク W が計測されるように加工装置 1 及びステージ装置 3 を制御する。

【0025】

制御装置 5 は、例えば、CPU (Central Processing Unit)（或いは、CPU に加えて又は代えて GPU (Graphics Processing Unit)）と、メモリとを含んでいてもよい。制御装置 5 は、CPU がコンピュータプログラムを実行することで、加工システム S Y S a の動作を制御する装置として機能する。このコンピュータプログラムは、制御装置 5 が行うべき後述する動作を制御装置 5（例えば、CPU）に行わせる（つまり、実行させる）ためのコンピュータプログラムである。つまり、このコンピュータプログラムは、加工システム S Y S a に後述する動作を行わせるように制御装置 5 を機能させるためのコンピュータプログラムである。CPU が実行するコンピュータプログラムは、制御装置 5 が備えるメモリ（つまり、記録媒体）に記録されていてもよいし、制御装置 5 に内蔵された又は制御装置 5 に外付け可能な任意の記憶媒体（例えば、ハードディスクや半導体メモリ）に記録されていてもよい。或いは、CPU は、実行すべきコンピュータプログラムを、ネットワークインタフェースを介して、制御装置 5 の外部の装置からダウンロードしてもよい。

【0026】

制御装置 5 は、加工システム S Y S a の内部に設けられていなくてもよく、例えば、加工システム S Y S a 外にサーバ等として設けられていてもよい。この場合、制御装置 5 と加工システム S Y S a とは、有線及び / 又は無線のネットワーク（或いは、データバス及び / 又は通信回線）で接続されていてもよい。有線のネットワークとして、例えば I E E

10

20

30

40

50

E 1 3 9 4、R S - 2 3 2 x、R S - 4 2 2、R S - 4 2 3、R S - 4 8 5 及び U S B の少なくとも一つに代表されるシリアルバス方式のインタフェースを用いるネットワークが用いられてもよい。有線のネットワークとして、パラレルバス方式のインタフェースを用いるネットワークが用いられてもよい。有線のネットワークとして、1 0 B A S E - T、1 0 0 B A S E - T X 及び 1 0 0 0 B A S E - T の少なくとも一つに代表されるイーサネット（登録商標）に準拠したインタフェースを用いるネットワークが用いられてもよい。無線のネットワークとして、電波を用いたネットワークが用いられてもよい。電波を用いたネットワークの一例として、I E E E 8 0 2 . 1 x に準拠したネットワーク（例えば、無線 L A N 及び B l u e t o o t h（登録商標）の少なくとも一方）があげられる。無線のネットワークとして、赤外線を用いたネットワークが用いられてもよい。無線のネットワークとして、光通信を用いたネットワークが用いられてもよい。この場合、制御装置 5 と加工システム S Y S a とはネットワークを介して各種の情報の送受信が可能となるように構成されていてもよい。また、制御装置 5 は、ネットワークを介して加工システム S Y S a にコマンドや制御パラメータ等の情報を送信可能であってもよい。加工システム S Y S a は、制御装置 5 からのコマンドや制御パラメータ等の情報を、上記ネットワークを介して受信する受信装置を備えていてもよい。或いは、制御装置 5 が行う処理のうちの一部を行う第 1 制御装置が加工システム S Y S a の内部に設けられている一方で、制御装置 5 が行う処理のうちの一部を行う第 2 制御装置が加工システム S Y S a の外部に設けられていてもよい。

10

【 0 0 2 7 】

20

尚、C P U が実行するコンピュータプログラムを記録する記録媒体としては、C D - R O M、C D - R、C D - R W やフレキシブルディスク、M O、D V D - R O M、D V D - R A M、D V D - R、D V D + R、D V D - R W、D V D + R W 及び B l u - r a y（登録商標）等の光ディスク、磁気テープ等の磁気媒体、光磁気ディスク、U S B メモリ等の半導体メモリ、及び、その他プログラムを格納可能な任意の媒体の少なくとも一つが用いられてもよい。記録媒体には、コンピュータプログラムを記録可能な機器（例えば、コンピュータプログラムがソフトウェア及びファームウェア等の少なくとも一方の形態で実行可能な状態に実装された汎用機器又は専用機器）が含まれていてもよい。更に、コンピュータプログラムに含まれる各処理や機能は、制御装置 5（つまり、コンピュータ）がコンピュータプログラムを実行することで制御装置 5 内に実現される論理的な処理ブロックによって実現されてもよいし、制御装置 5 が備える所定のゲートアレイ（F P G A、A S I C）等のハードウェアによって実現されてもよいし、論理的な処理ブロックとハードウェアの一部の要素を実現する部分的ハードウェアモジュールとが混在する形式で実現してもよい。

30

【 0 0 2 8 】

（ 1 - 2 ）加工ヘッド 1 1 の構造

続いて、図 3 を参照しながら、加工ヘッド 1 1 の構造の一例について説明する。図 3 は、加工ヘッド 1 1 の構造の一例を示す断面図である。

【 0 0 2 9 】

図 3 に示すように、加工ヘッド 1 1 は、加工光源 1 1 1 と、加工光学系 1 1 2 と、計測光源 1 1 3 と、計測光学系 1 1 4 と、合成光学系 1 1 5 と、共通光学系 1 1 6 とを備える。加工光源 1 1 1、加工光学系 1 1 2、計測光源 1 1 3、計測光学系 1 1 4、合成光学系 1 1 5 及び共通光学系 1 1 6 は、筐体 1 1 7 内に收容されている。但し、加工光源 1 1 1、加工光学系 1 1 2、計測光源 1 1 3、計測光学系 1 1 4、合成光学系 1 1 5 及び共通光学系 1 1 6 の少なくとも一つが、筐体 1 1 7 内に收容されていなくてもよい。

40

【 0 0 3 0 】

加工光源 1 1 1 は、加工光 E L を生成可能である。加工光 E L がレーザ光である場合には、加工光源 1 1 1 は、例えば、レーザダイオードを含んでいてもよい。更に、加工光源 1 1 1 は、パルス発振可能な光源であってもよい。この場合、加工光源 1 1 1 は、パルス光（例えば、発光時間がピコ秒以下のパルス光）を加工光 E L として生成可能である。加

50

工光源 1 1 1 は、生成した加工光 E L を、加工光学系 1 1 2 に向けて射出する。

【 0 0 3 1 】

加工光学系 1 1 2 は、加工光源 1 1 1 から射出された加工光 E L が入射する光学系である。加工光学系 1 1 2 は、加工光学系 1 1 2 に入射した加工光 E L を、合成光学系 1 1 5 に向けて射出する光学系である。つまり、加工光学系 1 1 2 は、加工光源 1 1 1 から射出された加工光 E L を、合成光学系 1 1 5 に導く光学系である。加工光学系 1 1 2 が射出した加工光 E L は、合成光学系 1 1 5 及び共通光学系 1 1 6 を介してワーク W に照射される。このため、加工光学系 1 1 2 は、合成光学系 1 1 5 及び共通光学系 1 1 6 を介して加工光 E L をワーク W に向けて射出する光学系であるとも言える。

【 0 0 3 2 】

加工光学系 1 1 2 は、位置調整光学系 1 1 2 1 と、角度調整光学系 1 1 2 2 とを含む。位置調整光学系 1 1 2 1 は、加工光学系 1 1 2 からの加工光 E L の射出位置を調整可能である。位置調整光学系 1 1 2 1 は、例えば加工光 E L の進行方向に対して傾斜可能な平行平板を備え、平行平板の傾斜角を変えることで加工光の位置を変更する。図 3 の例では、互いに傾斜方向が異なる複数の平行平板によって、加工光 E L の射出位置を Y Z 平面内の任意の位置とすることができる。加工光学系 1 1 2 からの加工光 E L の射出位置が変わると、加工光 E L の入射角度（例えば、ワーク W に対する入射角度）が変わる。角度調整光学系 1 1 2 2 は、加工光学系 1 1 2 からの加工光 E L の射出角度を調整可能である。角度調整光学系 1 1 2 2 は、例えば加工光 E L の進行方向に対して傾斜可能なミラーを備え、このミラーの傾斜角を変えることで加工光の射出角度を変更する。図 3 の例では、互いに傾斜方向が異なる複数のミラーによって、加工光 E L の射出角度を X 軸回り及び Y 軸回りの任意の方向とすることができる。加工光学系 1 1 2 からの加工光 E L の射出角度が変わると、加工光 E L の照射位置（例えば、ワーク W 上での照射位置）が変わる。但し、加工光学系 1 1 2 は、位置調整光学系 1 1 2 1 及び角度調整光学系 1 1 2 2 の少なくとも一方を含んでいなくてもよい。加工光学系 1 1 2 は、位置調整光学系 1 1 2 1 及び角度調整光学系 1 1 2 2 の少なくとも一方に加えて又は代えて、その他の光学素子や光学部材（これらを光学系と称してもよい、以下同じ）を含んでいてもよい。

【 0 0 3 3 】

加工光学系 1 1 2 から射出された加工光 E L は、合成光学系 1 1 5 に入射する。合成光学系 1 1 5 は、ビームスプリッタ（例えば、偏光ビームスプリッタ）1 1 5 1 を含む。ビームスプリッタ 1 1 5 1 は、ビームスプリッタ 1 1 5 1 に入射した加工光 E L を、共通光学系 1 1 6 に向けて射出する。図 3 に示す例では、ビームスプリッタ 1 1 5 1 に入射した加工光 E L は、偏光分離面を透過することで共通光学系 1 1 6 に向けて射出される。このため、図 3 に示す例では、加工光 E L は、偏光分離面を透過可能な偏光方向（偏光分離面に対して p 偏光となる偏光方向）を有する状態で偏光ビームスプリッタ 1 1 5 1 の偏光分離面に入射する。

【 0 0 3 4 】

合成光学系 1 1 5 から射出された加工光 E L は、共通光学系 1 1 6 に入射する。共通光学系 1 1 6 は、共通光学系 1 1 6 に入射した加工光 E L を、ワーク W に向けて射出する。共通光学系 1 1 6 は、ガルバノミラー 1 1 6 1 と、f レンズ 1 1 6 2 とを備える。

【 0 0 3 5 】

ガルバノミラー 1 1 6 1 には、合成光学系 1 1 5 から射出された加工光 E L が入射する。ガルバノミラー 1 1 6 1 は、加工光 E L を偏向する（つまり、加工光 E L の射出角度を変更する）ことで、ワーク W 上での加工光 E L の照射位置を変更する。つまり、ガルバノミラー 1 1 6 1 は、加工光 E L を偏向することで、加工光 E L が照射される領域としてワーク W 上に又は加工光 E L の光路上に設定される被照射領域 E A の位置を変更する。尚、ガルバノミラー 1 1 6 1 が f レンズ 1 1 6 2 の入射瞳位置又はその近傍に配置されているため、ガルバノミラー 1 1 6 1 による加工光 E L の射出角度の変化は、f レンズ 1 1 6 2 によって、加工光 E L の照射位置（つまり、被照射領域 E A の位置）の変化に変換される。例えば、ガルバノミラー 1 1 6 1 は、X 走査ミラー 1 1 6 1 X と、Y 走査ミラー 1

10

20

30

40

50

1 6 2 Yとを含む。X走査ミラー 1 1 6 1 X及びY走査ミラー 1 1 6 2 Yのそれぞれは、ガルバノミラー 1 1 6 1に入射する加工光 E Lの光路に対する角度が変更される傾斜角可変ミラーである。X走査ミラー 1 1 6 1 Xは、ワークW上での加工光 E LのX軸方向に沿った照射位置を変更するように揺動又は回転する（つまり、加工光 E Lの光路に対するX走査ミラー 1 1 6 1 Xの角度を変更する）ことで加工光 E Lを偏向する。Y走査ミラー 1 1 6 1 Yは、ワークW上での加工光 E LのY軸方向に沿った照射位置を変更するように揺動又は回転する（つまり、加工光 E Lの光路に対するY走査ミラー 1 1 6 1 Yの角度を変更する）ことで加工光 E Lを偏向する。

【0036】

f レンズ 1 1 6 2には、ガルバノミラー 1 1 6 1からの加工光 E Lが入射する。このため、ガルバノミラー 1 1 6 1は、合成光学系 1 1 5とf レンズ 1 1 6 2との間における加工光 E Lの光路上に配置される。f レンズ 1 1 6 2は、ガルバノミラー 1 1 6 1とワークWとの間における加工光 E Lの光路上に配置される。f レンズ 1 1 6 2は、ガルバノミラー 1 1 6 1と被照射領域 E Aとの間における加工光 E Lの光路上に配置される。f レンズ 1 1 6 2は、ガルバノミラー 1 1 6 1からの加工光 E LをワークWに照射するための光学系である。f レンズ 1 1 6 2は、ガルバノミラー 1 1 6 1からの加工光 E Lを被照射領域 E Aに照射するための光学系である。特に、f レンズ 1 1 6 2は、ガルバノミラー 1 1 6 1からの加工光 E LをワークW上に集光するための光学系である。このため、f レンズ 1 1 6 2は、収斂状態の加工光 E LをワークWに照射する。その結果、加工光 E LによってワークWが加工される。尚、f レンズ 1 1 6 2は、加工光 E LをワークWに照射するがゆえに、照射光学系と称されてもよい。尚、ガルバノミラー 1 1 6 1によってワークW上で移動する被照射領域 E Aの移動範囲を被加工領域と称してもよい。言い換えると、被加工領域内で被照射領域 E Aが移動するとしてもよい。

【0037】

続いて、計測光源 1 1 3は、計測光 M Lを生成可能である。計測光 M Lがレーザ光である場合には、計測光源 1 1 3は、例えば、レーザダイオードを含んでいてもよい。特に、上述したように計測光 M Lがパルス光を含むため、計測光源 1 1 3は、パルス発振可能な光源である。この場合、計測光源 1 1 3は、パルス光（例えば、発光時間がピコ秒以下のパルス光）を計測光 M Lとして生成可能である。計測光源 1 1 3は、生成した計測光 M Lを、計測光学系 1 1 4に向けて射出する。

【0038】

第1実施形態では、計測光源 1 1 3は、光コム光源を含む。光コム光源は、周波数軸上で等間隔に並んだ周波数成分を含む光（以降、“光周波数コム”と称する）をパルス光として生成可能な光源である。この場合、計測光源 1 1 3は、周波数軸上で等間隔に並んだ周波数成分を含むパルス光を、計測光 M Lとして射出する。

【0039】

図1に示す例では、加工ヘッド 1 1は、複数の計測光源 1 1 3を備えている。例えば、加工ヘッド 1 1は、計測光源 1 1 3 # 1と、計測光源 1 1 3 # 2とを備えている。複数の計測光源 1 1 3は、互いに位相同期され且つ干渉性のある複数の計測光 M Lをそれぞれ射出する。例えば、複数の計測光源 1 1 3は、発振周波数が異なってもよい。このため、複数の計測光源 1 1 3がそれぞれ射出する複数の計測光 M Lは、パルス周波数（例えば、単位時間当たりのパルス光の数であり、パルス光の発光周期の逆数）が異なる複数の計測光 M Lとなる。一例として、計測光源 1 1 3 # 1は、パルス周波数が 2 5 G H z となる計測光 M L # 1を射出し、計測光源 1 1 3 # 2は、パルス周波数が 2 5 G H z + （例えば、+ 1 0 0 k H z）となる計測光 M L # 2を射出してもよい。

【0040】

計測光学系 1 1 4は、計測光源 1 1 3から射出された計測光 M Lが入射する光学系である。計測光学系 1 1 4は、計測光学系 1 1 4に入射した計測光 M Lを、合成光学系 1 1 5に向けて射出する光学系である。つまり、計測光学系 1 1 4は、計測光源 1 1 3から射出された計測光 M Lを、合成光学系 1 1 5に導く光学系である。計測光学系 1 1 4が射出し

10

20

30

40

50

た計測光 M L は、合成光学系 1 1 5 及び共通光学系 1 1 6 を介してワーク W に照射される。このため、計測光学系 1 1 4 は、合成光学系 1 1 5 及び共通光学系 1 1 6 を介して計測光 M L をワーク W に向けて射出する光学系であるとも言える。

【 0 0 4 1 】

計測光学系 1 1 4 は、加工光学系 1 1 2 とは光学的に分離されている。このため、加工光源 1 1 1 と合成光学系 1 1 5 との間における加工光 E L の光路と、計測光源 1 1 3 と合成光学系 1 1 5 との間における計測光 M L の光路とは、光学的に分離されている。尚、ある光学系と別の光学系とが光学的に分離されているとは、ある光学系の光路と、別の光学系の光路とが互いに重畳しないことを指してもよい。

【 0 0 4 2 】

計測光学系 1 1 4 は、例えば、ビームスプリッタ 1 1 4 1 と、ビームスプリッタ 1 1 4 2 と、検出器 1 1 4 3 と、ビームスプリッタ 1 1 4 4 と、ミラー 1 1 4 5 と、検出器 1 1 4 6 と、ミラー 1 1 4 7 とを備える。

【 0 0 4 3 】

計測光源 1 1 3 から射出された計測光 M L は、ビームスプリッタ 1 1 4 1 に入射する。具体的には、計測光源 1 1 3 # 1 から射出された計測光 M L (以降、“計測光 M L # 1”と称する)及び計測光源 1 1 3 # 2 から射出された計測光 M L (以降、“計測光 M L # 2”と称する)は、ビームスプリッタ 1 1 4 1 に入射する。ビームスプリッタ 1 1 4 1 は、ビームスプリッタ 1 1 4 1 に入射した計測光 M L # 1 及び M L # 2 を、ビームスプリッタ 1 1 4 2 に向けて射出する。

【 0 0 4 4 】

ビームスプリッタ 1 1 4 2 は、ビームスプリッタ 1 1 4 2 に入射した計測光 M L # 1 の一部である計測光 M L # 1 - 1 を検出器 1 1 4 3 に向けて反射する。ビームスプリッタ 1 1 4 2 は、ビームスプリッタ 1 1 4 2 に入射した計測光 M L # 1 の他の一部である計測光 M L # 1 - 2 をビームスプリッタ 1 1 4 4 に向けて射出する。ビームスプリッタ 1 1 4 2 は、ビームスプリッタ 1 1 4 2 に入射した計測光 M L # 2 の一部である計測光 M L # 2 - 1 を検出器 1 1 4 3 に向けて反射する。ビームスプリッタ 1 1 4 2 は、ビームスプリッタ 1 1 4 2 に入射した計測光 M L # 2 の他の一部である計測光 M L # 2 - 2 をビームスプリッタ 1 1 4 4 に向けて射出する。

【 0 0 4 5 】

ビームスプリッタ 1 1 4 2 から射出された計測光 M L # 1 - 1 及び M L # 2 - 1 は、検出器 1 1 4 3 に入射する。検出器 1 1 4 3 は、計測光 M L # 1 - 1 と計測光 M L # 2 - 1 とが干渉することで生成される干渉光を検出する。具体的には、検出器 1 1 4 3 は、干渉光を受光することで、干渉光を検出する。このため、検出器 1 1 4 3 は、光を受光可能な受光素子(受光部であり、典型的には、光電変換素子)を備えていてもよい。検出器 1 1 4 3 の検出結果は、制御装置 5 に出力される。

【 0 0 4 6 】

ビームスプリッタ 1 1 4 2 から射出された計測光 M L # 1 - 2 及び M L # 2 - 2 は、ビームスプリッタ 1 1 4 4 に入射する。ビームスプリッタ 1 1 4 4 は、ビームスプリッタ 1 1 4 4 に入射した計測光 M L # 1 - 2 の少なくとも一部をミラー 1 1 4 5 に向けて射出する。ビームスプリッタ 1 1 4 4 は、ビームスプリッタ 1 1 4 4 に入射した計測光 M L # 2 - 2 の少なくとも一部をミラー 1 1 4 7 に向けて射出する。

【 0 0 4 7 】

ビームスプリッタ 1 1 4 4 から射出された計測光 M L # 1 - 2 は、ミラー 1 1 4 5 に入射する。ミラー 1 1 4 5 に入射した計測光 M L # 1 - 2 は、ミラー 1 1 4 5 の反射面(反射面は、参照面と称されてもよい)によって反射される。具体的には、ミラー 1 1 4 5 は、ミラー 1 1 4 5 に入射した計測光 M L # 1 - 2 をビームスプリッタ 1 1 4 4 に向けて反射する。つまり、ミラー 1 1 4 5 は、ミラー 1 1 4 5 に入射した計測光 M L # 1 - 2 を、その反射光である計測光 M L # 1 - 3 としてビームスプリッタ 1 1 4 4 に向けて射出する。ミラー 1 1 4 5 から射出された計測光 M L # 1 - 3 は、ビームスプリッタ 1 1 4 4 に入

10

20

30

40

50

射する。ビームスプリッタ 1 1 4 4 は、ビームスプリッタ 1 1 4 4 に入射した計測光 M L # 1 - 3 をビームスプリッタ 1 1 4 2 に向けて射出する。ビームスプリッタ 1 1 4 4 から射出された計測光 M L # 1 - 3 は、ビームスプリッタ 1 1 4 2 に入射する。ビームスプリッタ 1 1 4 2 は、ビームスプリッタ 1 1 4 2 に入射した計測光 M L # 1 - 3 を検出器 1 1 4 6 に向けて射出する。

【 0 0 4 8 】

一方で、ビームスプリッタ 1 1 4 4 から射出された計測光 M L # 2 - 2 は、ミラー 1 1 4 7 に入射する。ミラー 1 1 4 7 は、ミラー 1 1 4 7 に入射した計測光 M L # 2 - 2 を合成光学系 1 1 5 に向けて反射する。つまり、ミラー 1 1 4 7 は、ミラー 1 1 4 7 に入射した計測光 M L # 2 - 2 を合成光学系 1 1 5 に向けて射出する。

10

【 0 0 4 9 】

ミラー 1 1 4 7 から射出された計測光 M L # 2 - 2 は、合成光学系 1 1 5 に入射する。合成光学系 1 1 5 のビームスプリッタ 1 1 5 1 は、ビームスプリッタ 1 1 5 1 に入射した計測光 M L # 2 - 2 を、共通光学系 1 1 6 に向けて射出する。図 3 に示す例では、ビームスプリッタ 1 1 5 1 に入射した計測光 M L # 2 - 2 は、偏光分離面において反射されることで共通光学系 1 1 6 に向けて射出される。このため、図 3 に示す例では、計測光 M L # 2 - 2 は、偏光分離面で反射可能な偏光方向（偏光分離面に対して s 偏光となる偏光方向）を有する状態で偏光ビームスプリッタ 1 1 5 1 の偏光分離面に入射する。

【 0 0 5 0 】

ここで、上述したように、ビームスプリッタ 1 1 5 1 には、計測光 M L # 2 - 2 に加えて加工光 E L が入射する。つまり、計測光 M L # 2 - 2 及び加工光 E L の双方がビームスプリッタ 1 1 5 1 を通過する。ビームスプリッタ 1 1 5 1 は、ビームスプリッタ 1 1 5 1 に異なる方向からそれぞれ入射してきた加工光 E L 及び計測光 M L # 2 - 2 を、同じ方向に向けて（つまり、同じ共通光学系 1 1 6 に向けて）射出する。従って、ビームスプリッタ 1 1 5 1 は、実質的には、加工光 E L 及び計測光 M L # 2 - 2 を合成する光学系として機能する。尚、上述の同じ方向は、合成光学系 1 1 5 の射出側に位置する光学系である共通光学系 1 1 6 に加工光 E L 及び計測光 M L # 2 - 2 が入射するような加工光 E L 及び計測光 M L # 2 - 2 の向きとしてもよく、共通光学系 1 1 6 に加工光 E L 及び計測光 M L # 2 - 2 が入射する限りは加工光 E L 及び計測光 M L # 2 - 2 の向きが若干異なってもよい。

20

30

【 0 0 5 1 】

尚、合成光学系 1 1 5 は、加工光 E L 及び計測光 M L # 2 - 2 を合成することができる限りは、どのような構造を有していてもよい。例えば、合成光学系 1 1 5 は、ビームスプリッタ 1 1 5 1 を用いることに加えて又は代えて、ある波長帯域の光を反射し且つ別の波長帯域の光を透過するダイクロイックミラーを用いて加工光 E L 及び計測光 M L # 2 - 2 を合成してもよい。

【 0 0 5 2 】

合成光学系 1 1 5 から射出された計測光 M L # 2 - 2 は、共通光学系 1 1 6 に入射する。共通光学系 1 1 6 は、共通光学系 1 1 6 に入射した計測光 M L # 2 - 2 を、ワーク W に向けて射出する。

40

【 0 0 5 3 】

具体的には、ガルバノミラー 1 1 6 1 には、合成光学系 1 1 5 から射出された計測光 M L # 2 - 2 が入射する。ガルバノミラー 1 1 6 1 は、計測光 M L # 2 - 2 を偏向することで、ワーク W 上での計測光 M L # 2 - 2 の照射位置を変更する。つまり、ガルバノミラー 1 1 6 1 は、計測光 M L # 2 - 2 を偏向することで、計測光 M L # 2 - 2 が照射される領域としてワーク W 上に又は計測光 M L # 2 - 2 の光路上に設定される被照射領域 M A の位置を変更する。尚、ガルバノミラー 1 1 6 1 が f レンズ 1 1 6 2 の入射瞳位置又はその近傍に配置されているため、ガルバノミラー 1 1 6 1 による計測光 M L # 2 - 2 の射出角度の変化は、f レンズ 1 1 6 2 によって、計測光 M L # 2 - 2 の照射位置（つまり、被照射領域 M A の位置）の変化に変換される。例えば、X 走査ミラー 1 1 6 1 X は、ワーク

50

W上での計測光ML#2-2のX軸方向に沿った照射位置を変更するように揺動又は回転する(つまり、計測光ML#2-2の光路に対するX走査ミラー1161Xの角度を変更する)ことで計測光ML#2-2を偏向する。Y走査ミラー1161Yは、ワークW上での計測光ML#2-2のY軸方向に沿った照射位置を変更するように揺動又は回転する(つまり、計測光ML#2-2の光路に対するY走査ミラー1161Yの角度を変更する)ことで計測光ML#2-2を偏向する。尚、ガルバノミラー1161は、照射位置変更光学系と称されてもよい。

【0054】

f レンズ1162には、ガルバノミラー1161からの計測光ML#2-2が入射する。f レンズ1162は、ガルバノミラー1161からの計測光ML#2-2をワークW上に集光するための光学系である。f レンズ1162は、ガルバノミラー1161からの計測光ML#2-2をワークWに照射するための光学系である。f レンズ1162は、ガルバノミラー1161からの計測光ML#2-2を被照射領域MAに照射するための光学系である。このため、f レンズ1162は、ガルバノミラー1161と被照射領域MAとの間における計測光ML#2-2の光路上に配置される。特に、f レンズ1162は、収斂状態の計測光ML#2-2をワークWに照射する。その結果、計測光ML(具体的には、計測光ML#2-2)によってワークWが加工される。尚、f レンズ1162は、計測光ML#2-2をワークWに照射するがゆえに、照射光学系と称されてもよい。

【0055】

尚、ガルバノミラー1161によってワークW上で移動する被照射領域MAの移動範囲を被計測領域と称してもよい。言い換えると、被計測領域内で被照射領域MAが移動するとしてもよい。

【0056】

ここで、上述したように、共通光学系116には、計測光ML#2-2に加えて加工光ELが入射する。つまり、共通光学系116には、合成光学系115が合成した加工光EL及び計測光ML#2-2が入射する。従って、計測光ML#2-2及び加工光ELの双方が同じ共通光学系116(具体的には、同じガルバノミラー1161及び同じf レンズ1162)を通過する。このため、ガルバノミラー1161は、ワークW上での加工光ELの照射位置とワークW上での計測光ML#2-2の照射位置とを同期して変更可能である。ガルバノミラー1161は、ワークW上での加工光ELの照射位置とワークW上での計測光ML#2-2の照射位置とを連動して変更可能である。つまり、ガルバノミラー1161は、ワークWに対する被照射領域EAの相対位置とワークWに対する被照射領域MAの相対位置とを同期して及び/又は連動して変更可能である。

【0057】

共通光学系116からワークWへと向かう計測光ML#2-2の開き角は、共通光学系116からワークWへと向かう加工光ELの開き角よりも大きくてもよい。この場合、ワークW上での計測光MLのスポット径が、ワークW上での加工光ELのスポット径よりも小さくなる。その結果、加工光ELによる加工分解能よりも、計測光MLによる計測分解能が高くなる。

【0058】

共通光学系116からワークWへと向かう計測光ML#2-2の開き角は、共通光学系116に入射する計測光ML#2-2の光束のサイズに依存する。具体的には、共通光学系116に入射する計測光ML#2-2の光束のサイズが大きくなるほど、共通光学系116からワークWへと向かう計測光ML#2-2の開き角が大きくなる。同様に、共通光学系116からワークWへと向かう加工光ELの開き角は、共通光学系116に入射する加工光ELの光束のサイズに依存する。具体的には、共通光学系116に入射する加工光ELの光束のサイズが大きくなるほど、共通光学系116からワークWへと向かう加工光ELの開き角が大きくなる。このため、共通光学系116に入射する計測光ML#2-2の光束のサイズは、共通光学系116に入射する加工光ELの光束のサイズよりも大きく

10

20

30

40

50

てもよい。この場合、ワークW上での計測光MLのスポット径が、ワークW上での加工光ELのスポット径よりも小さくなる。その結果、加工光ELによる加工分解能よりも、計測光MLによる計測分解能が高くなる。尚、ここで言う「光束のサイズ」は、光の進行方向に交差する光束の断面のサイズを意味していてもよい。光の進行方向に交差する光束の断面が円形でない場合には、「光束のサイズ」は、光の進行方向に交差する光束の断面の最大のサイズを意味していてもよい。例えば、光の進行方向に交差する光束の断面が楕円である場合には、楕円の長径を最大のサイズとしてもよい。

【0059】

共通光学系116からワークWへと向かう計測光ML#2-2の開き角は、f レンズ1162の瞳位置（典型的には入射瞳位置、ワークWからf レンズ1161へ向かう光を基準に考えると射出瞳位置）での計測光ML#2-2の光束のサイズに依存する。具体的には、f レンズ1162の瞳位置での計測光ML#2-2の光束のサイズが大きくなるほど、共通光学系116からワークWへと向かう計測光ML#2-2の開き角が大きくなる。同様に、共通光学系116からワークWへと向かう加工光ELの開き角は、f レンズ1162の瞳位置での加工光ELの光束のサイズに依存する。具体的には、f レンズ1162の瞳位置での加工光ELの光束のサイズが大きくなるほど、共通光学系116からワークWへと向かう加工光ELの開き角が大きくなる。このため、f レンズ1162の瞳位置での計測光ML#2-2の光束のサイズは、f レンズ1162の瞳位置での加工光ELの光束のサイズよりも大きくてもよい。この場合、ワークW上での計測光MLのスポット径が、ワークW上での加工光ELのスポット径よりも小さくなる。その結果、加工光ELによる加工分解能よりも、計測光MLによる計測分解能が高くなる。

【0060】

合成光学系115は、合成光学系115とワークWとの間において加工光ELの光路と計測光ML#2-2の光路とが少なくとも部分的に重複する（言い換えると、重畳する）ように、加工光EL及び計測光ML#2-2を合成してもよい。つまり、合成光学系115は、合成光学系115からワークWに至る加工光ELの光路と、合成光学系115からワークWに至る計測光ML#2-2の光路とが少なくとも部分的に重複するように、加工光EL及び計測光ML#2-2を合成してもよい。尚、光路の重複を考慮する際の「光の光路」は、光が伝搬する経路（或いは光線の経路）の集合体を意味していてもよい。例えば、合成光学系115とワークWとの間における加工光ELの光路は、合成光学系115からワークWの第1位置に達する加工光ELが占有する空間的な領域である第1経路と、合成光学系115からワークWの第2位置に達する加工光ELが占有する空間的な領域である第2経路と、・・・、合成光学系115からワークWの第N位置に達する加工光ELが占有する空間的な領域である第N経路とを合わせた空間的な領域を含んでいてもよい。例えば、合成光学系115とワークWとの間における加工光ELの光路は、ガルバノミラー1161によって加工光ELが通過し得る空間的な領域を含んでいてもよい（後述する図4及び図7参照）。例えば、合成光学系115とワークWとの間における計測光MLの光路は、ガルバノミラー1161によって計測光MLが通過し得る空間的な領域を含んでいてもよい（後述する図4及び図7参照）。

【0061】

合成光学系115とワークWとの間に共通光学系116が存在するため、合成光学系115は、共通光学系116内において加工光ELの光路と計測光ML#2-2の光路とが少なくとも部分的に重複するように、加工光EL及び計測光ML#2-2を合成してもよい。合成光学系115は、共通光学系116内での加工光ELの光路と共通光学系116内での計測光ML#2-2の光路とが少なくとも部分的に重複するように、加工光EL及び計測光ML#2-2を合成してもよい。合成光学系115は、共通光学系116とワークWとの間において加工光ELの光路と計測光ML#2-2の光路とが少なくとも部分的に重複するように、加工光EL及び計測光ML#2-2を合成してもよい。合成光学系115は、共通光学系116からワークWに至る加工光ELの光路と、共通光学系116からワークWに至る計測光ML#2-2の光路とが少なくとも部分的に重複するように、加

加工光 E L 及び計測光 M L # 2 - 2 を合成してもよい。

【 0 0 6 2 】

一例として、合成光学系 1 1 5 とワーク W との間における加工光 E L の光路と計測光 M L # 2 - 2 の光路とを部分的に示す断面図である図 4 に示すように、合成光学系 1 1 5 は、合成光学系 1 1 5 からワーク W に至る加工光 E L の光路と、合成光学系 1 1 5 からワーク W に至る計測光 M L # 2 - 2 の光路とが同軸となるように、加工光 E L 及び計測光 M L # 2 - 2 を合成してもよい。この場合、加工光 E L が照射される被照射領域 E A と計測光 M L が照射される被照射領域 M A とを示す平面図である図 5 に示すように、合成光学系 1 1 5 は、被照射領域 E A と被照射領域 M A とが少なくとも部分的に重複するように、加工光 E L 及び計測光 M L # 2 - 2 を合成してもよい。合成光学系 1 1 5 は、ワーク W 上での加工光 E L の照射位置とワーク W 上での計測光 M L # 2 - 2 の照射位置とが少なくとも部分的に一致するように、加工光 E L 及び計測光 M L # 2 - 2 を合成してもよい。被照射領域 E A と被照射領域 M A とが少なくとも部分的に重複する場合には、加工光 E L が照射される被照射領域 E A の少なくとも一部に計測光 M L # 2 - 2 が照射され、且つ、計測光 M L # 2 - 2 が照射される被照射領域 M A の少なくとも一部に加工光 E L が照射される。つまり、加工光 E L 及び計測光 M L # 2 - 2 が同じ領域に照射される。尚、合成光学系 1 1 5 からワーク W に至る加工光 E L の光路と、合成光学系 1 1 5 からワーク W に至る計測光 M L # 2 - 2 の光路とが同軸となることは、合成光学系 1 1 5 からワーク W に至る加工光 E L の主光線と合成光学系 1 1 5 からワーク W に至る計測光 M L # 2 - 2 の主光線とが一致することを含んでいてもよい。ここで加工光 E L 及び計測光 M L # 2 - 2 の主光線は、加工光 E L 及び計測光 M L # 2 - 2 の光束断面（加工光 E L 及び計測光 M L # 2 - 2 の進行方向と交差する断面）における光量重心の位置を通過する光線とすることができる。

【 0 0 6 3 】

被照射領域 E A と被照射領域 M A とが少なくとも部分的に重複する場合には、加工装置 1 は、被照射領域 E A への加工光 E L の照射と被照射領域 M A への計測光 M L # 2 - 2 の照射とを同時に行ってもよい。具体的には、加工光 E L の照射タイミングと計測光 M L # 2 - 2 の照射タイミングとを示すタイミングチャートである図 6 (a) に示すように、上述したように加工光 E L 及び計測光 M L # 2 - 2 のそれぞれがパルス光を含む場合には、加工装置 1 は、加工光 E L を構成する複数のパルス光のうちの少なくとも一つが被照射領域 E A に照射されるタイミング（言い換えると、時期、期間）と、計測光 M L # 2 - 2 を構成する複数のパルス光のうちの少なくとも一つが被照射領域 M A に照射されるタイミング（つまり、時期、期間）とが一致するように、加工光 E L 及び計測光 M L # 2 - 2 を照射してもよい。

【 0 0 6 4 】

或いは、被照射領域 E A と被照射領域 M A とが少なくとも部分的に重複する場合には、加工装置 1 は、被照射領域 E A への加工光 E L の照射と被照射領域 M A への計測光 M L # 2 - 2 の照射とをそれぞれ異なるタイミングで行ってもよい。具体的には、加工光 E L の照射タイミングと計測光 M L # 2 - 2 の照射タイミングとを示すタイミングチャートである図 6 (b) 及び図 6 (c) に示すように、加工装置 1 は、加工光 E L を構成する複数のパルス光のうちの少なくとも一つが被照射領域 E A に照射されるタイミング（つまり、時期、期間）と、計測光 M L # 2 - 2 を構成する複数のパルス光のうちの少なくとも一つが被照射領域 M A に照射されるタイミング（つまり、時期、期間）とが異なるものとなるように、加工光 E L 及び計測光 M L # 2 - 2 を照射してもよい。加工装置 1 は、加工光 E L を構成する複数のパルス光のうちの少なくとも一つが被照射領域 E A に照射されるタイミング（つまり、時期、期間）と、計測光 M L # 2 - 2 を構成する複数のパルス光のうちの少なくとも一つが被照射領域 M A に照射されるタイミング（つまり、時期、期間）とが重ならないように、加工光 E L 及び計測光 M L # 2 - 2 を照射してもよい。典型的には、加工装置 1 は、加工光 E L を構成する一のパルス光 P L # 1 3 が被照射領域 E A に照射されるタイミングが、計測光 M L # 2 - 2 を構成する一のパルス光 P L # 1 2 が被照射領域 M A に照射されるタイミングと計測光 M L # 2 - 2 を構成する他のパルス光 P L # 1 4 が被

照射領域MAに照射されるタイミングとの間に設定されるように、加工光EL及び計測光ML#2-2を照射してもよい。加工装置1は、計測光ML#2-2を構成する一のパルス光PL#12が被照射領域MAに照射されるタイミングが、加工光ELを構成する他のパルス光PL#13が被照射領域EAに照射されるタイミングと加工光ELを構成する他のパルス光PL#13が被照射領域EAに照射されるタイミングとの間に設定されるように、加工光EL及び計測光ML#2-2を照射してもよい。この場合、計測光ML#2-2のワークWに対する照射が、ワークWに対する加工光ELの照射に起因して発生する物質（例えば、ヒューム等）によって妨げられる可能性が低くなる。その結果、計測光ML#2-2を用いたより適切な計測が可能となる。

【0065】

或いは、合成光学系115は、合成光学系115とワークWとの間において加工光ELの光路と計測光ML#2-2の光路とが少なくとも部分的に離れるように、加工光EL及び計測光ML#2-2を合成してもよい。つまり、合成光学系115は、合成光学系115からワークWに至る加工光ELの光路と、合成光学系115からワークWに至る計測光ML#2-2の光路とが少なくとも部分的に離れるように、加工光EL及び計測光ML#2-2を合成してもよい。合成光学系115とワークWとの間に共通光学系116が存在するため、合成光学系115は、共通光学系116内において加工光ELの光路と計測光ML#2-2の光路とが少なくとも部分的に離れるように、加工光EL及び計測光ML#2-2を合成してもよい。合成光学系115は、共通光学系116内での加工光ELの光路と共通光学系116内での計測光ML#2-2の光路とが少なくとも部分的に離れるように、加工光EL及び計測光ML#2-2を合成してもよい。合成光学系115は、共通光学系116とワークWとの間において加工光ELの光路と計測光ML#2-2の光路とが少なくとも部分的に離れるように、加工光EL及び計測光ML#2-2を合成してもよい。合成光学系115は、共通光学系116からワークWに至る加工光ELの光路と、共通光学系116からワークWに至る計測光ML#2-2の光路とが少なくとも部分的に離れるように、加工光EL及び計測光ML#2-2を合成してもよい。

【0066】

一例として、合成光学系115とワークWとの間における加工光ELの光路と計測光ML#2-2の光路とを部分的に示す断面図である図7に示すように、合成光学系115は、合成光学系115からワークWに至る加工光ELの光路と、合成光学系115からワークWに至る計測光ML#2-2の光路とが、合成光学系115及び/又は共通光学系116の光軸AXに交差する方向に沿って少なくとも部分的に離れるように、加工光EL及び計測光ML#2-2を合成してもよい。つまり、合成光学系115は、合成光学系115からワークWに至る加工光ELの光路と、合成光学系115からワークWに至る計測光ML#2-2の光路とが、オフアクシスな関係となるように、加工光EL及び計測光ML#2-2を合成してもよい。この場合、加工光ELが照射される被照射領域EAと計測光MLが照射される被照射領域MAとを示す平面図である図8に示すように、合成光学系115は、被照射領域EAと被照射領域MAとが少なくとも部分的に離れるように、加工光EL及び計測光ML#2-2を合成してもよい。合成光学系115は、ワークW上での加工光ELの照射位置とワークW上での計測光ML#2-2の照射位置とが少なくとも部分的に異なるように、加工光EL及び計測光ML#2-2を合成してもよい。

【0067】

図7は、f レンズ1162からワークWに至る加工光ELと、f レンズ1162からワークWに至る計測光ML#2-2とが平行になる例を示している。つまり、図7は、f レンズ1162からワークWに至る加工光ELの主光線と、f レンズ1162からワークWに至る計測光ML#2-2の主光線とが平行になる例を示している。しかしながら、f レンズ1162からワークWに至る加工光ELと、f レンズ1162からワークWに至る計測光ML#2-2とが非平行になっていてもよい。つまり、f レンズ1162からワークWに至る加工光ELの主光線と、f レンズ1162からワークWに至る計測光ML#2-2の主光線とが非平行になっていてもよい。言い換えると、加工光EL

10

20

30

40

50

に関して f レンズ 1 1 6 2 のワーク側のテレセントリック性が非テレセントリックであってもよく、計測光 $M L$ に関して f レンズ 1 1 6 2 のワーク側のテレセントリック性が非テレセントリックであってもよい。

【 0 0 6 8 】

被照射領域 $E A$ と被照射領域 $M A$ とを少なくとも部分的に離すために、合成光学系 1 1 5 は、典型的には、 f レンズ 1 1 6 2 の瞳面において加工光 $E L$ と計測光 $M L \# 2 - 2$ とが角度差を有するように、加工光 $E L$ 及び計測光 $M L \# 2 - 2$ を合成してもよい。つまり、合成光学系 1 1 5 は、 f レンズ 1 1 6 2 の瞳面に対する加工光 $E L$ の入射角度と f レンズ 1 1 6 2 の瞳面に対する計測光 $M L \# 2 - 2$ の入射角度とが異なるように、加工光 $E L$ 及び計測光 $M L \# 2 - 2$ を合成してもよい。その結果、瞳面での加工光 $E L$ と計測光 $M L \# 2 - 2$ との角度差が、 f レンズ 1 1 6 2 によって、像面（典型的には、ワーク W の表面）での加工光 $E L$ と計測光 $M L \# 2 - 2$ との照射位置の差に変換される。つまり、瞳面での加工光 $E L$ と計測光 $M L \# 2 - 2$ との角度差が、 f レンズ 1 1 6 2 によって、ワーク W 上での被照射領域 $E A$ と被照射領域 $M A$ との間の位置の差に変換される。

10

【 0 0 6 9 】

ワーク W 上で被照射領域 $E A$ と被照射領域 $M A$ とを少なくとも部分的に離すために、図 9 に示すように、共通光学系 1 1 6 は、ガルバノミラー 1 1 6 1 と f レンズ 1 1 6 2 との間に、リレーレンズ 1 1 6 3 を備えていてもよい。リレーレンズ 1 1 6 3 は、ワーク W の表面と光学的に共役な面において加工光 $E L$ の光路と計測光 $M L \# 2 - 2$ の光路とを少なくとも部分的に離すための光学部材（光学系）である。

20

【 0 0 7 0 】

被照射領域 $E A$ と被照射領域 $M A$ とが少なくとも部分的に離れる場合には、加工装置 1 は、被照射領域 $E A$ への加工光 $E L$ の照射と被照射領域 $M A$ への計測光 $M L \# 2 - 2$ の照射とをそれぞれ同じタイミングで行ってもよい（図 6（a）参照）。或いは、被照射領域 $E A$ と被照射領域 $M A$ とが少なくとも部分的に離れる場合には、加工装置 1 は、被照射領域 $E A$ への加工光 $E L$ の照射と被照射領域 $M A$ への計測光 $M L \# 2 - 2$ の照射とをそれぞれ異なるタイミングで行ってもよい（図 6（b）及び図 6（c）参照）。

【 0 0 7 1 】

尚、合成光学系 1 1 5 は、合成光学系 1 1 5 とワーク W との間において加工光 $E L$ の光路と計測光 $M L \# 2 - 2$ の光路とが離れるように（部分的にも重複しないように）、加工光 $E L$ 及び計測光 $M L \# 2 - 2$ を合成してもよい。

30

【 0 0 7 2 】

或いは、被照射領域 $E A$ と被照射領域 $M A$ とが少なくとも部分的に重複する場合、被照射領域 $E A$ と被照射領域 $M A$ とが少なくとも部分的に離れる場合及び被照射領域 $E A$ と被照射領域 $M A$ とが完全に離れる場合のそれぞれにおいて、加工装置 1 は、加工装置 1 がワーク W の加工を開始する前に（例えば、ステージ 3 2 にワーク W が載置されたタイミングやワーク W に計測光 $M L$ が照射可能となったタイミングで）、ワーク W に計測光 $M L$ を照射してもよい。つまり、加工装置 1 は、加工装置 1 がワーク W の加工を開始する前に（例えば、ステージ 3 2 にワーク W が載置されたタイミングやワーク W に計測光 $M L$ が照射可能となったタイミングで）、被照射領域 $M A$ への計測光 $M L \# 2 - 2$ の照射を行ってもよい。加工装置 1 は、加工装置 1 がワーク W の加工を完了した後に、ワーク W に計測光 $M L$ を照射してもよい。加工装置 1 は、加工装置 1 がワーク W の加工を完了した後に、被照射領域 $M A$ への計測光 $M L \# 2 - 2$ の照射を行ってもよい。

40

【 0 0 7 3 】

再び図 3 において、ワーク W に計測光 $M L \# 2 - 2$ が照射されると、計測光 $M L \# 2 - 2$ の照射に起因した光がワーク W から発生する。つまり、ワーク W に計測光 $M L \# 2 - 2$ が照射されると、計測光 $M L \# 2 - 2$ の照射に起因した光がワーク W から射出される。例えば、ワーク W に計測光 $M L \# 2 - 2$ が照射されると、計測光 $M L \# 2 - 2$ の反射光がワーク W から射出する。例えば、ワーク W に計測光 $M L \# 2 - 2$ が照射されると、計測光 $M L \# 2 - 2$ の散乱光がワーク W から射出する。ここで、計測光 $M L \# 2 - 2$ の照射に起因

50

した光、別の言い方をすると計測光 M L # 2 - 2 の照射に起因してワーク W から射出される光は、ワーク W で反射された計測光 M L # 2 - 2 (つまり、反射光)、計測光 M L # 2 - 2 のワーク W への照射によって生じる散乱光、ワーク W で回折された計測光 M L # 2 - 2 (つまり、回折光)、及びワーク W を透過した計測光 M L # 2 - 2 (つまり、透過光)のうち、少なくとも一つを含んでいてもよい。

【 0 0 7 4 】

計測光 M L # 2 - 2 の照射に起因してワーク W から射出される光の少なくとも一部(以下、この光を“計測光 M L # 2 - 3”と称する)は、共通光学系 1 1 6 に入射する。共通光学系 1 1 6 に入射した計測光 M L # 2 - 3 は、f レンズ 1 1 6 2 及びガルバノミラー 1 1 6 1 を介して、合成光学系 1 1 5 に入射する。合成光学系 1 1 5 のビームスプリッタ 1 1 5 1 は、ビームスプリッタ 1 1 5 1 に入射した計測光 M L # 2 - 3 を、計測光学系 1 1 4 に向けて射出する。図 3 に示す例では、ビームスプリッタ 1 1 5 1 に入射した計測光 M L # 2 - 3 は、偏光分離面において反射されることで計測光学系 1 1 4 に向けて射出される。このため、図 3 に示す例では、計測光 M L # 2 - 3 は、偏光分離面で反射可能な偏光方向を有する状態で偏光ビームスプリッタ 1 1 5 1 の偏光分離面に入射する。

10

【 0 0 7 5 】

合成光学系 1 1 5 から射出された計測光 M L # 2 - 3 は、計測光学系 1 1 4 のミラー 1 1 4 7 に入射する。ミラー 1 1 4 7 は、ミラー 1 1 4 7 に入射した計測光 M L # 2 - 3 をビームスプリッタ 1 1 4 4 に向けて反射する。ビームスプリッタ 1 1 4 4 は、ビームスプリッタ 1 1 4 4 に入射した計測光 M L # 2 - 3 の少なくとも一部をビームスプリッタ 1 1 4 2 に向けて射出する。ビームスプリッタ 1 1 4 2 は、ビームスプリッタ 1 1 4 2 に入射した計測光 M L # 2 - 3 の少なくとも一部を検出器 1 1 4 6 に向けて射出する。

20

【 0 0 7 6 】

ここで、上述したように、検出器 1 1 4 6 には、計測光 M L # 2 - 3 に加えて、計測光 M L # 1 - 3 が入射する。つまり、検出器 1 1 4 6 には、ワーク W を介して検出器 1 1 4 6 に向かう計測光 M L # 2 - 3 と、ワーク W を介することなく検出器 1 1 4 6 に向かう計測光 M L # 1 - 3 とが入射する。尚、計測光 M L # 1 - 3 は、参照光と称されてもよい。検出器 1 1 4 6 は、計測光 M L # 1 - 3 と計測光 M L # 2 - 3 とが干渉することで生成される干渉光を検出する。具体的には、検出器 1 1 4 6 は、干渉光を受光することで、干渉光を検出する。このため、検出器 1 1 4 6 は、光を受光可能な受光素子(受光部)を備えていてもよい。検出器 1 1 4 6 の検出結果は、制御装置 5 に出力される。

30

【 0 0 7 7 】

制御装置 5 は、検出器 1 1 4 3 の検出結果及び検出器 1 1 4 6 の検出結果に基づいて、ワーク W の状態を算出する。ここで、図 1 0 を参照しながら、検出器 1 1 4 3 の検出結果及び検出器 1 1 4 6 の検出結果に基づいてワーク W の状態を算出する原理について説明する。

【 0 0 7 8 】

図 1 0 は、検出器 1 1 4 3 に入射する計測光 M L # 1 - 1、検出器 1 1 4 3 に入射する計測光 M L # 2 - 1、検出器 1 1 4 3 が検出した干渉光、検出器 1 1 4 6 に入射する計測光 M L # 1 - 3、検出器 1 1 4 6 に入射する計測光 M L # 2 - 3 及び検出器 1 1 4 6 が検出した干渉光を示すタイミングチャートである。計測光 # 1 のパルス周波数と計測光 M L # 2 のパルス周波数とが異なるため、計測光 # 1 - 1 のパルス周波数と計測光 M L # 2 - 1 のパルス周波数とが異なる。従って、計測光 # 1 - 1 と計測光 M L # 2 - 1 との干渉光は、計測光 # 1 - 1 を構成するパルス光と計測光 M L # 2 - 1 を構成するパルス光とが同時に検出器 1 1 4 3 に入射したタイミングに同期してパルス光が現れる干渉光となる。同様に、計測光 # 1 - 3 のパルス周波数と計測光 M L # 2 - 3 のパルス周波数とが異なる。従って、計測光 # 1 - 3 と計測光 M L # 2 - 3 との干渉光は、計測光 # 1 - 3 を構成するパルス光と計測光 M L # 2 - 3 を構成するパルス光とが同時に検出器 1 1 4 6 に入射したタイミングに同期してパルス光が現れる干渉光となる。

40

【 0 0 7 9 】

50

ここで、検出器 1 1 4 6 が検出する干渉光を作るパルス光の位置（時間軸上の位置）は、加工ヘッド 1 1 とワーク W との位置関係に応じて変動する。なぜならば、検出器 1 1 4 6 が検出する干渉光は、ワーク W を介して検出器 1 1 4 6 に向かう計測光 M L # 2 - 3 と、ワーク W を介することなく検出器 1 1 4 6 に向かう計測光 M L # 1 - 3 との干渉光であるからである。一方で、検出器 1 1 4 3 が検出する干渉光を作るパルス光の位置（時間軸上の位置）は、加工ヘッド 1 1 とワーク W との位置関係に応じて変動することはない。このため、検出器 1 1 4 6 が検出する干渉光を作るパルス光と検出器 1 1 4 3 が検出する干渉光を作るパルス光との時間差は、加工ヘッド 1 1 とワーク W との位置関係（典型的には、加工ヘッド 1 1 とワーク W との間の距離）を間接的に示していると言える。このため、制御装置 5 は、検出器 1 1 4 6 が検出する干渉光を作るパルス光と検出器 1 1 4 3 が検出する干渉光を作るパルス光との時間差に基づいて、ワーク W の状態を算出することができる。具体的には、制御装置 5 は、検出器 1 1 4 6 が検出する干渉光を作るパルス光と検出器 1 1 4 3 が検出する干渉光を作るパルス光との時間差に基づいて、ワーク W のうち計測光 M L # 2 - 2 が照射された部分の位置を算出することができる。つまり、制御装置 5 は、ワーク W のうち計測光 M L # 2 - 2 が照射された部分の位置に関する情報を求めることができる。更には、ワーク W の複数個所に計測光 M L # 2 - 2 が照射されれば及び / 又はワーク W の表面を走査するように計測光 M L # 2 - 2 が照射されれば、制御装置 5 は、ワーク W の形状も算出することができる。

10

【 0 0 8 0 】

算出されたワーク W の状態は、加工システム S Y S a を制御するために用いられてもよい。具体的には、算出されたワーク W の状態は、加工装置 1 を制御するために用いられてもよい。算出されたワーク W の状態は、加工ヘッド 1 1 を制御するために用いられてもよい。算出されたワーク W の状態は、ヘッド駆動系 1 2 を制御するために用いられてもよい。算出されたワーク W の状態は、ステージ装置 3 を制御するために用いられてもよい。算出されたワーク W の状態は、ステージ駆動系 3 3 を制御するために用いられてもよい。

20

【 0 0 8 1 】

例えば、制御装置 5 は、算出されたワーク W の状態に基づいて、ワーク W と加工ヘッド 1 1 との相対的な位置関係が所望の位置関係となるように、ワーク W と加工ヘッド 1 1 との相対的な位置関係を変更してもよい。つまり、制御装置 5 は、算出されたワーク W の状態に基づいて、ワーク W と加工ヘッド 1 1 との相対的な位置関係が所望の位置関係となるように、ワーク W と加工ヘッド 1 1 との相対的な位置関係を変更可能な装置を制御してもよい。ワーク W と加工ヘッド 1 1 との相対的な位置関係を変更可能な装置の一例として、ヘッド駆動系 1 2 及びステージ駆動系 3 3 の少なくとも一方があげられる。尚、「所望の位置関係」の一例として、ワーク W 上の所望位置に加工光 E L 及び / 又は計測光 M L が照射される位置関係があげられる。

30

【 0 0 8 2 】

例えば、制御装置 5 は、算出されたワーク W の状態に基づいて、ワーク W と加工ヘッド 1 1 が備える各光学系（例えば、加工光学系 1 1 2、計測光学系 1 1 4、合成光学系 1 1 5 及び共通光学系 1 1 6 の少なくとも一つ）との相対的な位置関係が所望の関係となるように、ワーク W と加工ヘッド 1 1 が備える各光学系との相対的な位置関係を変更してもよい。つまり、制御装置 5 は、算出されたワーク W の状態に基づいて、ワーク W と加工ヘッド 1 1 が備える各光学系との相対的な位置関係が所望の関係となるように、ワーク W と加工ヘッド 1 1 が備える各光学系との相対的な位置関係を変更可能な装置を制御してもよい。ワーク W と加工ヘッド 1 1 が備える各光学系との相対的な位置関係を変更可能な装置の一例として、ヘッド駆動系 1 2 及びステージ駆動系 3 3 の少なくとも一方があげられる。

40

【 0 0 8 3 】

例えば、制御装置 5 は、算出されたワーク W の状態に基づいて、ワーク W 上の所望位置に被照射領域 E A が設定される（つまり、加工光 E L が照射される）ように、ワーク W に対する被照射領域 E A の相対位置を変更してもよい。つまり、制御装置 5 は、算出されたワーク W の状態に基づいて、ワーク W 上の所望位置に被照射領域 E A が設定されるように

50

、ワークWに対する被照射領域E Aの相対位置を変更可能な装置を制御してもよい。ワークWに対する被照射領域E Aの相対位置を変更可能な装置の一例として、加工光学系1 1 2の角度調整光学素子1 1 2 2、共通光学系1 1 6のガルバノミラー1 1 6 1、ヘッド駆動系1 2及びステージ駆動系3 3があげられる。

【0 0 8 4】

例えば、制御装置5は、算出されたワークWの状態に基づいて、ワークW上の所望位置に被照射領域M Aが設定される（つまり、計測光M L # 2 - 2が照射される）ように、ワークWに対する被照射領域M Aの相対位置を変更してもよい。つまり、制御装置5は、算出されたワークWの状態に基づいて、ワークW上の所望位置に被照射領域M Aが設定されるように、ワークWに対する被照射領域M Aの相対位置を変更可能な装置を制御してもよい。ワークWに対する被照射領域M Aの相対位置を変更可能な装置の一例として、加工光学系1 1 2の角度調整光学素子1 1 2 2、共通光学系1 1 6のガルバノミラー1 1 6 1、ヘッド駆動系1 2及びステージ駆動系3 3があげられる。

10

【0 0 8 5】

但し、上述したように、第1実施形態では、ガルバノミラー1 1 6 1は、ワークWに対する被照射領域M Aの相対位置とワークW上での計測光M L # 2 - 2の照射位置とを連動して変更可能である。このため、ガルバノミラー1 1 6 1を用いてワークWに対する被照射領域M Aの相対位置が変更されると、ワークWに対する被照射領域E Aの相対位置もまた同時に変更される。つまり、ガルバノミラー1 1 6 1を用いてワークWに対する被照射領域E Aの相対位置が変更されると、ワークWに対する被照射領域M Aの相対位置もまた同時に変更される。

20

【0 0 8 6】

ヘッド駆動系1 2もまた、加工ヘッド1 1を移動させるがゆえに、ワークWに対する被照射領域M Aの相対位置とワークW上での計測光M L # 2 - 2の照射位置とを連動して変更可能である。このため、ヘッド駆動系1 2を用いてワークWに対する被照射領域M Aの相対位置が変更されると、ワークWに対する被照射領域E Aの相対位置もまた同時に変更される。つまり、ヘッド駆動系1 2を用いてワークWに対する被照射領域E Aの相対位置が変更されると、ワークWに対する被照射領域M Aの相対位置もまた同時に変更される。

【0 0 8 7】

ステージ駆動系3 3もまた、ステージ3 2を移動させる（つまり、ステージ3 2に載置されたワークWを移動させる）がゆえに、ワークWに対する被照射領域M Aの相対位置とワークW上での計測光M L # 2 - 2の照射位置とを連動して変更可能である。ステージ駆動系3 3を用いてワークWに対する被照射領域M Aの相対位置が変更されると、ワークWに対する被照射領域E Aの相対位置もまた同時に変更される。つまり、ステージ駆動系3 3を用いてワークWに対する被照射領域E Aの相対位置が変更されると、ワークWに対する被照射領域M Aの相対位置もまた同時に変更される。

30

【0 0 8 8】

例えば、制御装置5は、算出されたワークWの状態に基づいて、加工光E LによってワークWが適切に加工されたか否かを判定してもよい。つまり、制御装置5は、算出されたワークWの状態に基づいて、加工光E LによってワークWが加工された後のワークWの事後検査を行ってもよい。具体的には、制御装置5は、算出されたワークWの状態と加工後のワークWの理想的な状態とを比較することで、加工光E LによってワークWが適切に加工されたか否かを判定してもよい。加工光E LによってワークWが適切に加工されていないと判定された場合には、制御装置5は、加工光E LによってワークWが適切に加工されるように、加工装置1を制御してもよい。

40

【0 0 8 9】

尚、ワークWの事後検査が行われる場合には、ワークW上において、計測光M L # 2 - 2が照射される被照射領域M Aは、加工光E Lが照射される被照射領域E Aの後方に設定されていてもよい。ここで言う「後方」は、ワークW上での加工光E Lの移動方向（つまり、被照射領域E Aの移動方向）に沿った後方を意味する。この場合、加工光E Lがワー

50

クW上のある領域に照射された後に、当該領域に計測光M L # 2 - 2が照射される。従って、加工光E L及び計測光M L # 2 - 2の照射順が、ワークWの事後検査に適した順番となる。

【0090】

例えば、制御装置5は、算出されたワークWの状態に基づいて、加工光E LによってワークWが加工される前のワークWの事前検査を行ってもよい。例えば、制御装置5は、加工光E Lによる適切な加工を妨げかねない欠陥がワークWに生じているか否かを判定する事前検査を行ってもよい。例えば、制御装置5は、加工光E Lによる加工内容を決定するために、ワークWの状態を特定する事前検査を行ってもよい。

【0091】

尚、ワークWの事前検査が行われる場合には、ワークW上において、計測光M L # 2 - 2が照射される被照射領域MAは、加工光E Lが照射される被照射領域EAの前方に設定されていてもよい。ここで言う「前方」は、ワークW上での加工光E Lの移動方向に沿った前方を意味する。この場合、計測光M L # 2 - 2がワークW上のある領域に照射された後に、当該領域に加工光E Lが照射される。従って、加工光E L及び計測光M L # 2 - 2の照射順が、ワークWの事前検査に適した順番となる。

【0092】

(1-3)ヘッド駆動系12の構造

(1-3-1)ヘッド駆動系12の全体構造

続いて、図11を参照しながら、ヘッド駆動系12の構造の一例について説明する。図11は、ヘッド駆動系12の構造の一例を示す断面図である。

【0093】

図11に示すように、ヘッド駆動系12は、第1駆動系121と、第2駆動系122とを備える。第1駆動系121には、第2駆動系122が取り付けられている。第1駆動系121は、第2駆動系122を支持する。第2駆動系122には、加工ヘッド11が取り付けられている。第2駆動系122は、加工ヘッド11を支持する。このため、第2駆動系122は、実質的には、第1駆動系121と加工ヘッド11とを接続する接続装置として機能してもよい。

【0094】

第1駆動系121は、制御装置5の制御下で、第2駆動系122をワークWに対して移動させる。つまり、第1駆動系121は、第2駆動系122をワークWに対して移動させる移動装置として機能する。第2駆動系122に加工ヘッド11が取り付けられているため、第1駆動系121は、第2駆動系122を移動させることで、加工ヘッド11をワークWに対して移動させていると言える。つまり、第1駆動系121は、第2駆動系122と共に加工ヘッド11を移動させる。第1駆動系121は、第2駆動系122を介して加工ヘッド11を移動させる。第1駆動系121は、第2駆動系122を介して加工ヘッド11が備える各光学系を移動させる(言い換えれば、駆動する)駆動部として機能する。

【0095】

第2駆動系122は、制御装置5の制御下で、加工ヘッド11をワークWに対して移動させる。つまり、第2駆動系122は、加工ヘッド11をワークWに対して移動させる移動装置として機能する。第2駆動系122は、加工ヘッド11をワークWに対して移動させる移動装置として機能する。上述したように第2駆動系122が加工ヘッド11を支持しているため、第2駆動系122は、加工ヘッド11がワークWに対して変位可能な状態で加工ヘッド11を支持すると言える。この場合、第2駆動系122は、加工ヘッド11が備える各光学系がワークWに対して変位可能な状態で加工ヘッド11が備える各光学系を支持する支持部として機能する。

【0096】

以下、このような第1駆動系121及び第2駆動系122について順に説明する。

【0097】

(1-3-1-1)第1駆動系121の構造

図 1 1 に示すように、第 1 駆動系 1 2 1 は、基台 1 2 1 1 と、アーム駆動系 1 2 1 2 とを備えている。

【 0 0 9 8 】

基台 1 2 1 1 は、筐体 4（例えば、筐体 4 の天井部材）又は不図示の支持フレーム（支持構造体）に取り付けられている。基台 1 2 1 1 には、アーム駆動系 1 2 1 2 が取り付けられている。基台 1 2 1 1 は、アーム駆動系 1 2 1 1 を支持する。基台 1 2 1 1 は、アーム駆動系 1 2 1 1 を支持するためのベース部材として用いられる。

【 0 0 9 9 】

アーム駆動系 1 2 1 2 は、複数のアーム部材 1 2 1 2 1 を備えている。複数のアーム部材 1 2 1 2 1 は、少なくとも一つのジョイント部材 1 2 1 2 2 を介して揺動自在に連結されている。従って、アーム駆動系 1 2 1 2 は、いわゆる垂直多関節構造を有するロボットである。尚、アーム駆動系 1 2 1 2 は、垂直多関節構造を有するロボットには限定されず、例えば、水平多関節構造を有するロボット極座標型ロボット、円筒座標型ロボット、直角座標型ロボット、又はパラレルリンク型ロボットであってもよい。アーム駆動系 1 2 1 2 は、単一の関節（つまり、ジョイント部材 1 2 1 2 2 によって規定される駆動軸）を備えていてもよい。或いは、アーム駆動系 1 2 1 2 は、複数の関節を備えていてもよい。図 1 1 は、アーム駆動系 1 2 1 2 が三つの関節を備えている例を示している。各関節を介して連結されている二つのアーム部材 1 2 1 2 1 は、各関節に対応するアクチュエータ 1 2 1 2 3 によって揺動する。図 1 1 は、三つの関節に対応してアーム駆動系 1 2 1 2 が三つのアクチュエータ 1 2 1 2 3 を備えている例を示している。その結果、少なくとも一つのアーム部材 1 2 1 2 1 が移動する。このため、少なくとも一つのアーム部材 1 2 1 2 1 は、ワーク W に対して移動可能である。つまり、少なくとも一つのアーム部材 1 2 1 2 1 は、少なくとも一つのアーム部材 1 2 1 2 1 とワーク W との相対的な位置関係が変更されるように移動可能である。

【 0 1 0 0 】

アーム駆動系 1 2 1 2 には、第 2 駆動系 1 2 2 が取り付けられている。具体的には、複数のアーム部材 1 2 1 2 1 のうちの基台 1 2 1 1 から最も遠い位置に位置する一のアーム部材 1 2 1 2 1 に、第 2 駆動系 1 2 2 が取り付けられている。以下、説明の便宜上、第 2 駆動系 1 2 2 が取り付けられる一のアーム部材 1 2 1 2 1 を、先端アーム部材 1 2 1 2 4 と称する。第 2 駆動系 1 2 2 は、先端アーム部材 1 2 1 2 4 に直接取り付けられていてもよいし、他の部材を介して先端アーム部材 1 2 1 2 4 に間接的に取り付けられていてもよい。

【 0 1 0 1 】

上述したアクチュエータ 1 2 1 2 3 によって先端アーム部材 1 2 1 2 4 が移動すると、先端アーム部材 1 2 1 2 4 に取り付けられている第 2 駆動系 1 2 2 もまた移動する。このため、アーム駆動系 1 2 1 2（つまり、第 1 駆動系 1 2 1）は、第 2 駆動系 1 2 2 を移動させることができる。具体的には、アーム駆動系 1 2 1 2 は、ワーク W に対して第 2 駆動系 1 2 2 を移動させることができる。アーム駆動系 1 2 1 2 は、第 2 駆動系 1 2 2 とワーク W との相対的な位置関係が変更されるように、第 2 駆動系 1 2 2 を移動させることができる。また、第 2 駆動系 1 2 2 が移動すると、第 2 駆動系 1 2 2 に取り付けられている加工ヘッド 1 1 もまた移動する。このため、アーム駆動系 1 2 1 2（つまり、第 1 駆動系 1 2 1）は、加工ヘッド 1 1 を移動させることができる。

【 0 1 0 2 】

尚、第 1 駆動系 1 2 1 は、多関節ロボットには限定されず、第 2 駆動系 1 2 2 をワーク W に対して移動させることが可能である限りは、どのような構造を有していてもよい。

【 0 1 0 3 】

（ 1 - 3 - 1 - 2 ） 第 2 駆動系 1 2 2 の構造

続いて、図 1 2 を参照しながら、第 2 駆動系 1 2 2 の構造について説明する。図 1 2 は、第 2 駆動系 1 2 2 の構造を示す断面図である。

【 0 1 0 4 】

10

20

30

40

50

図 1 2 に示すように、第 2 駆動系 1 2 2 は、支持部材 1 2 2 1 と、支持部材 1 2 2 2 と、エアスプリング 1 2 2 3 と、ダンパ部材 1 2 2 4 と、駆動部材 1 2 2 5 とを備える。

【 0 1 0 5 】

支持部材 1 2 2 1 は、第 1 駆動系 1 2 1 に取り付けられている。具体的には、支持部材 1 2 2 1 は、第 1 駆動系 1 2 1 の先端アーム部材 1 2 1 2 4 に取り付けられている。支持部材 1 2 2 2 は、加工ヘッド 1 1 に取り付けられている。

【 0 1 0 6 】

支持部材 1 2 2 1 と支持部材 1 2 2 2 とは、エアスプリング 1 2 2 3、ダンパ部材 1 2 2 4 及び駆動部材 1 2 2 5 を介して結合されている（言い換えれば、連結されている、或いは、接続されている）。つまり、エアスプリング 1 2 2 3、ダンパ部材 1 2 2 4 及び駆動部材 1 2 2 5 のそれぞれは、支持部材 1 2 2 1 と支持部材 1 2 2 2 とを結合するように、支持部材 1 2 2 1 及び 1 2 2 2 に取り付けられている。支持部材 1 2 2 1 に第 1 駆動系 1 2 1 が取り付けられ且つ支持部材 1 2 2 2 に加工ヘッド 1 1 が取り付けられているため、エアスプリング 1 2 2 3、ダンパ部材 1 2 2 4 及び駆動部材 1 2 2 5 のそれぞれは、実質的には、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 とを結合するように、支持部材 1 2 2 1 及び 1 2 2 2 に取り付けられているとも言える。

【 0 1 0 7 】

エアスプリング 1 2 2 3 は、制御装置 5 の制御下で、気体（一例として空気）の圧力に起因した弾性力を、支持部材 1 2 2 1 及び 1 2 2 2 の少なくとも一方に付与する。エアスプリング 1 2 2 3 は、制御装置 5 の制御下で、気体の圧力に起因した弾性力を、支持部材 1 2 2 1 及び 1 2 2 2 の少なくとも一方を介して第 1 駆動系 1 2 1 及び加工ヘッド 1 1 の少なくとも一方に付与する。特に、エアスプリング 1 2 2 3 は、支持部材 1 2 2 1 と支持部材 1 2 2 2 とが並ぶ方向（図 1 2 に示す例では、Z 軸方向であり、重力方向）に沿って、気体の圧力に起因した弾性力を、支持部材 1 2 2 1 及び 1 2 2 2 の少なくとも一方に付与してもよい。つまり、エアスプリング 1 2 2 3 は、第 1 駆動系 1 2 1（特に、先端アーム部材 1 2 1 2 4）と加工ヘッド 1 1 とが並ぶ方向（図 1 2 に示す例では、Z 軸方向であり、重力方向）に沿って、気体の圧力に起因した弾性力を、支持部材 1 2 2 1 及び 1 2 2 2 の少なくとも一方を介して第 1 駆動系 1 2 1 及び加工ヘッド 1 1 の少なくとも一方に付与してもよい。尚、エアスプリング 1 2 2 3 は、弾性部材と称されてもよい。

【 0 1 0 8 】

気体の圧力に起因した弾性力を付与するために、エアスプリング 1 2 2 3 には、気体供給装置 1 2 2 6 1 から配管 1 2 2 6 2 及びバルブ 1 2 2 6 3 を介して気体が供給される。制御装置 5 は、エアスプリング 1 2 2 3 内の機体の圧力を計測する圧力計 1 2 2 6 の計測結果に基づいて、気体供給装置 1 2 2 6 1 及びバルブ 1 2 2 6 3 の少なくとも一方を制御する。尚、気体供給装置 1 2 2 6 1、配管 1 2 2 6 2 及びバルブ 1 2 2 6 3 はなくてもよい。この場合、エアスプリング 1 2 2 3 は、制御装置 5 の制御とは無関係に、内部の気体の圧力に起因した弾性力を、支持部材 1 2 2 1 及び 1 2 2 2 の少なくとも一方に付与してもよい。

【 0 1 0 9 】

エアスプリング 1 2 2 3 は、制御装置 5 の制御下で、弾性力を利用して、支持部材 1 2 2 2 の重量を支持してもよい。具体的には、エアスプリング 1 2 2 3 は、弾性力を利用して、支持部材 1 2 2 1 と支持部材 1 2 2 2 とが並ぶ方向に沿って支持部材 1 2 2 2 の重量を支持してもよい。支持部材 1 2 2 2 に加工ヘッド 1 1 が取り付けられているため、エアスプリング 1 2 2 3 は、弾性力を利用して、支持部材 1 2 2 2 に取り付けられた加工ヘッド 1 1 の重量を支持してもよい。具体的には、エアスプリング 1 2 2 3 は、弾性力を利用して、第 1 駆動系 1 2 1（特に、先端アーム部材 1 2 1 2 4）と加工ヘッド 1 1 とが並ぶ方向に沿って加工ヘッド 1 1 の重量を支持してもよい。この場合、エアスプリング 1 2 2 3 は、加工ヘッド 1 1 の自重をキャンセルする自重キャンセラとして機能してもよい。尚、エアスプリング 1 2 2 3 は、制御装置 5 の制御とは無関係に、弾性力を利用して、支持部材 1 2 2 2 の重量を支持してもよい。

10

20

30

40

50

【 0 1 1 0 】

エアスプリング 1 2 2 3 は、制御装置 5 の制御下で、弾性力を利用して、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との間で第 2 駆動系 1 2 2 を介して伝達される振動を低減してもよい。つまり、エアスプリング 1 2 2 3 は、弾性力を利用して、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との間で第 2 駆動系 1 2 2 を介して伝達される振動を減衰してもよい。具体的には、エアスプリング 1 2 2 3 は、弾性力を利用して、第 1 駆動系 1 2 1 から第 2 駆動系 1 2 2 を介して加工ヘッド 1 1 へと向かう（つまり、伝達される）振動を低減（減衰）してもよい。つまり、エアスプリング 1 2 2 3 は、弾性力を利用して、第 1 駆動系 1 2 1 のうち第 2 駆動系 1 2 2 が取り付けられている部分（つまり、先端アーム部分 1 2 1 2 4）から、加工ヘッド 1 1 のうち第 2 駆動系 1 2 2 が取り付けられている部分へと向かう振動を低減（減衰）してもよい。この場合、制御装置 5 は、圧力計 1 2 2 6 の計測結果に基づいて、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との間で第 2 駆動系 1 2 2 を介して伝達される振動が低減される（つまり、減衰される）ように、気体供給装置 1 2 2 6 1 及びバルブ 1 2 2 6 3 の少なくとも一方を制御してもよい。尚、エアスプリング 1 2 2 3（或いは、エアスプリング 1 2 2 3 を含む第 2 駆動系 1 2 2）は、振動低減装置又は振動減衰装置と称されてもよい。尚、エアスプリング 1 2 2 3 は、制御装置 5 の制御とは無関係に、弾性力を利用して、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との間で第 2 駆動系 1 2 2 を介して伝達される振動を低減してもよい。

10

【 0 1 1 1 】

ダンパ部材 1 2 2 4 は、空気の圧力とは異なる要因に起因した弾性力を、支持部材 1 2 2 1 及び 1 2 2 2 の少なくとも一方に付与する。ダンパ部材 1 2 2 4 は、空気の圧力とは異なる要因に起因した弾性力を、支持部材 1 2 2 1 及び 1 2 2 2 の少なくとも一方を介して第 1 駆動系 1 2 1 及び加工ヘッド 1 1 の少なくとも一方に付与する。特に、ダンパ部材 1 2 2 4 は、支持部材 1 2 2 1 と支持部材 1 2 2 2 とが並ぶ方向（図 1 2 に示す例では、Z 軸方向であり、重力方向）に沿って、弾性力を、支持部材 1 2 2 1 及び 1 2 2 2 の少なくとも一方に付与してもよい。つまり、ダンパ部材 1 2 2 4 は、第 1 駆動系 1 2 1（特に、先端アーム部材 1 2 1 2 4）と加工ヘッド 1 1 とが並ぶ方向（図 1 2 に示す例では、Z 軸方向であり、重力方向）に沿って、弾性力を、支持部材 1 2 2 1 及び 1 2 2 2 の少なくとも一方を介して第 1 駆動系 1 2 1 及び加工ヘッド 1 1 の少なくとも一方に付与してもよい。尚、ダンパ部材 1 2 2 4 は、弾性部材と称されてもよい。

20

30

【 0 1 1 2 】

ダンパ部材 1 2 2 4 は、弾性力を付与可能である限りはどのような部材であってもよい。例えば、ダンパ部材 1 2 2 4 は、圧縮バネコイルを含んでいてもよい。例えば、ダンパ部材 1 2 2 4 は、板バネを含んでいてもよい。

【 0 1 1 3 】

ダンパ部材 1 2 2 4 は、弾性力を利用して、支持部材 1 2 2 2 の重量を支持してもよい。具体的には、ダンパ部材 1 2 2 4 は、弾性力を利用して、支持部材 1 2 2 1 と支持部材 1 2 2 2 とが並ぶ方向に沿って支持部材 1 2 2 2 の重量を支持してもよい。支持部材 1 2 2 2 に加工ヘッド 1 1 が取り付けられているため、ダンパ部材 1 2 2 4 は、弾性力を利用して、支持部材 1 2 2 2 に取り付けられた加工ヘッド 1 1 の重量を支持してもよい。具体的には、ダンパ部材 1 2 2 4 は、弾性力を利用して、第 1 駆動系 1 2 1（特に、先端アーム部材 1 2 1 2 4）と加工ヘッド 1 1 とが並ぶ方向に沿って加工ヘッド 1 1 の重量を支持してもよい。この場合、ダンパ部材 1 2 2 4 は、加工ヘッド 1 1 の自重をキャンセルする自重キャンセラとして機能してもよい。

40

【 0 1 1 4 】

ダンパ部材 1 2 2 4 は、弾性力を利用して、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との間で第 2 駆動系 1 2 2 を介して伝達される振動を低減してもよい。つまり、ダンパ部材 1 2 2 4 は、弾性力を利用して、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との間で第 2 駆動系 1 2 2 を介して伝達される振動を減衰してもよい。具体的には、ダンパ部材 1 2 2 4 は、弾性力を利用して、第 1 駆動系 1 2 1 から第 2 駆動系 1 2 2 を介して加工ヘッド 1 1 へと向か

50

う（つまり、伝達される）振動を低減（減衰）してもよい。このため、ダンパ部材 1 2 2 4（或いは、ダンパ部材 1 2 2 4 を含む第 2 駆動系 1 2 2）は、振動低減装置又は振動減衰装置と称されてもよい。

【0 1 1 5】

ダンパ部材 1 2 2 4 は、弾性力を利用して、エアスプリング 1 2 2 3 の振動を減衰振動に変換してもよい。つまり、ダンパ部材 1 2 2 4 は、弾性力を利用して、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との間で第 2 駆動系 1 2 2 を介して伝達される振動を減衰振動に変換してもよい。

【0 1 1 6】

駆動部材 1 2 2 5 は、制御装置 5 の制御下で、駆動力を発生可能である。駆動部材 1 2 2 5 は、発生させた駆動力を支持部材 1 2 2 1 及び 1 2 2 2 の少なくとも一方に付与可能である。駆動部材 1 2 2 5 は、発生させた駆動力を、支持部材 1 2 2 1 及び 1 2 2 2 の少なくとも一方を介して、第 1 駆動系 1 2 1 及び加工ヘッド 1 1 の少なくとも一方に付与可能である。駆動部材 1 2 2 5 は、駆動力を発生可能である限りは、どのような構造を有していてもよい。例えば、駆動部材 1 2 2 5 は、電氣的に駆動力を発生可能な構造を有していてもよい。例えば、駆動部材 1 2 2 5 は、磁氣的に駆動力を発生可能な構造を有していてもよい。一例として、図 1 2 は、駆動部材 1 2 2 5 が、電氣的に駆動力を発生可能なボイスコイルモータ（VCM: Voice Coil Motor）である例を示している。尚、ボイスコイルモータがリニアモータの一種であるところ、駆動部材 1 2 2 5 はボイスコイルモータと異なるリニアモータであってもよい。駆動部材 1 2 2 5 は、直線状の軸に沿った駆動力を発生させるものであってもよい。

【0 1 1 7】

尚、駆動部材 1 2 2 5 は、駆動部材 1 2 2 5 のうちの支持部材 1 2 2 1 に取り付けられる部材と、駆動部材 1 2 2 5 のうちの支持部材 1 2 2 2 に取り付けられる部材とが物理的に接触しない構造を有していてもよい。例えば、駆動部材 1 2 2 5 がボイスコイルモータである場合には、駆動部材 1 2 2 5 のうちの支持部材 1 2 2 1 に取り付けられる部材（例えば、コイル及び磁極のいずれか一方を含む部材）と、駆動部材 1 2 2 5 のうちの支持部材 1 2 2 2 に取り付けられる部材（例えば、コイル及び磁極のいずれか他方を含む部材）とが物理的に接触することはない。

【0 1 1 8】

駆動部材 1 2 2 5 は、制御装置 5 の制御下で、駆動力を利用して、支持部材 1 2 2 1 及び 1 2 2 2 の少なくとも一方を移動させてもよい。駆動部材 1 2 2 5 は、制御装置 5 の制御下で、駆動力を利用して支持部材 1 2 2 1 及び 1 2 2 2 の少なくとも一方を移動させることで、第 1 駆動系 1 2 1 及び加工ヘッド 1 1 の少なくとも一方を移動させてもよい。この場合、駆動部材 1 2 2 5 は、駆動力を利用して第 1 駆動系 1 2 1 及び加工ヘッド 1 1 の少なくとも一方を移動させることで、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との相対位置を変更してもよい。この場合、駆動部材 1 2 2 5 を含む第 2 駆動系 1 2 2 は、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との相対位置が変更可能になるように第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 とを結合していると言える。つまり、上述したエアスプリング 1 2 2 3 及びダンパ部材 1 2 2 4（更には、駆動部材 1 2 2 5）は、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との相対位置が駆動部材 1 2 2 5 によって変更可能となるように、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 とを結合していると言える。尚、駆動部材 1 2 2 5 は、位置変更装置と称されてもよい。

【0 1 1 9】

駆動部材 1 2 2 5 は、制御装置 5 の制御下で、第 2 駆動系 1 2 2 が備える位置計測装置 1 2 2 7 の計測結果に基づいて、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との相対位置を変更してもよい。位置計測装置 1 2 2 6 は、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との相対位置を計測する。例えば、位置計測装置 1 2 2 6 は、支持部材 1 2 2 1 に取り付けられた検出部 1 2 2 6 1 と、支持部材 1 2 2 2 に取り付けられたスケール部 1 2 2 6 2 とを含むエンコードであってもよい。位置計測装置 1 2 2 6 の計測結果は、支持部材 1 2 2 1 と支持部

10

20

30

40

50

材 1 2 2 2 との相対位置に関する情報を含む。支持部材 1 2 2 1 に第 1 駆動系 1 2 1 が取り付けられ且つ支持部材 1 2 2 2 に加工ヘッド 1 1 が取り付けられているため、支持部材 1 2 2 1 と支持部材 1 2 2 2 との相対位置に関する情報は、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との相対位置に関する情報を含む。従って、制御装置 5 は、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との相対位置を適切に特定することができる。その結果、制御装置 5 は、位置計測装置 1 2 2 7 の計測結果に基づいて、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との相対位置を適切に変更することができる。

【 0 1 2 0 】

駆動部材 1 2 2 5 は、制御装置 5 の制御下で、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との相対位置を変更する（典型的には、第 1 駆動系 1 2 1 に対して加工ヘッド 1 1 を移動させる）ことで、ワーク W に対して加工ヘッド 1 1 を移動させてもよい。駆動部材 1 2 2 5 は、加工ヘッド 1 1 とワーク W との相対的な位置関係が変更されるように、加工ヘッド 1 1 を移動させてもよい。

10

【 0 1 2 1 】

駆動部材 1 2 2 5 は、制御装置 5 の制御下で、駆動力を利用して第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との相対位置を変更することで、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との間で第 2 駆動系 1 2 2 を介して伝達される振動を低減してもよい。つまり、駆動部材 1 2 2 5 は、駆動力を利用して、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との間で第 2 駆動系 1 2 2 を介して伝達される振動を減衰してもよい。具体的には、駆動部材 1 2 2 5 は、駆動力を利用して、第 1 駆動系 1 2 1 から第 2 駆動系 1 2 2 を介して加工ヘッド 1 1 へと向かう（つまり、伝達される）振動を低減（減衰）してもよい。このため、駆動部材 1 2 2 5（或いは、駆動部材部材 1 2 2 5 を含む第 2 駆動系 1 2 2）は、振動低減装置又は振動減衰装置と称されてもよい。

20

【 0 1 2 2 】

駆動部材 1 2 2 5 は、駆動力を利用して第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との相対位置を変更することで、エアスプリング 1 2 2 3 の振動を減衰振動に変換してもよい。つまり、駆動部材 1 2 2 5 は、駆動力を利用して、第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との間で第 2 駆動系 1 2 2 を介して伝達される振動を減衰振動に変換してもよい。この場合、駆動部材 1 2 2 5 は、駆動力を利用して、第 1 駆動系 1 2 1 から加工ヘッド 1 1 に向かう振動に起因した第 1 駆動系 1 2 1 と加工ヘッド 1 1 との相対的な変位量を低減していると言える。具体的には、駆動部材 1 2 2 5 は、駆動力を利用して、第 1 駆動系 1 2 1 から加工ヘッド 1 1 に向かう振動に起因した、第 1 駆動系 1 2 1 のうち第 2 駆動系 1 2 2 が接続されている部分（つまり、先端アーム部分 1 2 1 2 4）と加工ヘッド 1 1 のうち第 2 駆動系 1 2 2 が接続されている部分との相対的な変位量を低減していると言える。尚、駆動部材 1 2 2 5 がエアスプリング 1 2 2 3 の振動を減衰振動に変換可能である場合には、第 2 駆動系 1 2 2 は、ダンパ部材 1 2 2 4 を備えていなくてもよい。但し、駆動部材 1 2 2 5 がエアスプリング 1 2 2 3 の振動を減衰振動に変換可能でない場合であっても、第 2 駆動系 1 2 2 は、ダンパ部材 1 2 2 4 を備えていなくてもよい。また、エアスプリング 1 2 2 3 の数と、ダンパ部材 1 2 2 4 の数と、駆動部材 1 2 2 5 の数とは、互いに等しくなくてもよい。

30

40

【 0 1 2 3 】

駆動部材 1 2 2 5 は、エアスプリング 1 2 2 3 及び / 又はダンパ部材 1 2 2 4 が弾性力を付与する方向の成分を含む方向に沿って作用する駆動力を付与してもよい。図 1 2 に示す例で言えば、エアスプリング 1 2 2 3 及び / 又はダンパ部材 1 2 2 4 が Z 軸方向に沿った弾性力を付与しているため、駆動部材 1 2 2 5 は、Z 軸方向の成分を含む方向に沿って作用する駆動力を付与してもよい。エアスプリング 1 2 2 3 及び / 又はダンパ部材 1 2 2 4 が弾性力を付与する方向の成分を含む方向に沿って作用する駆動力を駆動部材 1 2 2 5 が発生する場合には、駆動部材 1 2 2 5 は、この駆動力を利用して、エアスプリング 1 2 2 3 の振動を減衰振動に変換することができる。エアスプリング 1 2 2 3 の振動を減衰振動にする際には、駆動部材 1 2 2 5 は、駆動力を利用して、エアスプリング 1 2 2 3 の共

50

振周波数を変更してもよい。典型的には、駆動部材 1 2 2 5 は、駆動力を利用して、エアスプリング 1 2 2 3 の共振周波数を高くしてもよい。

【 0 1 2 4 】

エアスプリング 1 2 2 3 等の弾性部材と駆動部材 1 2 2 5 とを用いて能動的に振動を低減する装置は、能動型防振装置と称されてもよい。このため、第 2 駆動系 1 2 2 は、能動型防振装置と称されてもよい。能動型防振装置は、能動型振動分離システム (A V I S : A c t i v e V i b r a t i o n I s o l a t i o n S y s t e m) と称されてもよい。

【 0 1 2 5 】

(1 - 4) 加工システム S Y S a の技術的効果

以上説明した加工システム S Y S a は、加工光 E L を用いてワーク W を適切に加工することができる。更に、加工システム S Y S a は、計測光 M L を用いてワーク W を適切に計測することができる。特に、第 1 実施形態では、計測光 M L として光コムが用いられるがゆえに、ワーク W の計測精度が向上する。

【 0 1 2 6 】

更に、加工システム S Y S a は、同じ光学系 (具体的には、共通光学系 1 1 6) を介して加工光 E L 及び計測光 M L をワーク W に照射することができる。特に、加工システム S Y S a は、同じガルバノミラー 1 1 6 1 を介して加工光 E L 及び計測光 M L をワーク W に照射することができる。このため、加工システム S Y S a は、ワーク W 上での加工光 E L の照射位置とワーク W 上での計測光 M L # 2 - 2 の照射位置とを同期して及び / 又は連動して変更することができる。つまり、加工システム S Y S a は、ワーク W 上での加工光 E L の照射位置とワーク W 上での計測光 M L # 2 - 2 の照射位置との相対的な位置関係が固定された状態で、ワーク W 上での加工光 E L の照射位置とワーク W 上での計測光 M L # 2 - 2 の照射位置とを変更することができる。このため、加工システム S Y S a による加工光 E L 及び計測光 M L の位置合わせの精度が向上する。例えば、ワーク W 上での加工光 E L の照射位置とワーク W 上での計測光 M L # 2 - 2 の照射位置とが大きくずれる可能性が小さくなる。

【 0 1 2 7 】

(2) 第 2 実施形態の加工システム S Y S b

続いて、第 2 実施形態の加工システム S Y S (以降、第 2 実施形態の加工システム S Y S を、“加工システム S Y S b” と称する) について説明する。第 2 実施形態の加工システム S Y S b は、上述した第 1 実施形態の加工システム S Y S a と比較して、加工装置 1 に代えて、加工装置 1 b を備えているという点で異なる。加工システム S Y S b のその他の特徴は、加工システム S Y S a のその他の特徴と同一であってもよい。加工装置 1 b は、加工装置 1 と比較して、加工ヘッド 1 1 に代えて、加工ヘッド 1 1 b を備えているという点で異なる。加工装置 1 b のその他の特徴は、加工装置 1 のその他の特徴と同一であってもよい。従って、以下では、図 1 3 を参照しながら、第 2 実施形態の加工ヘッド 1 1 b について説明する。図 1 3 は、第 2 実施形態の加工ヘッド 1 1 b の構造の一例を示す断面図である。尚、既に説明済みの構成要素と同一の構成要素については、同一の参照符号を付してその詳細な説明を省略する。

【 0 1 2 8 】

図 1 3 に示すように、加工ヘッド 1 1 b は、加工光源 1 1 1 及び計測光源 1 1 3 の少なくとも一方が筐体 1 1 7 の外部に配置されているという点で、加工光源 1 1 1 及び計測光源 1 1 3 の双方が筐体 1 1 7 の内部に配置されている上述した加工ヘッド 1 1 とは異なる。図 1 3 は、加工光源 1 1 1 及び計測光源 1 1 3 の双方が筐体 1 1 7 の外部に配置されている例を示している。加工ヘッド 1 1 b のその他の特徴は、加工ヘッド 1 1 のその他の特徴と同一であってもよい。

【 0 1 2 9 】

この場合、加工ヘッド 1 1 b は、加工ヘッド 1 1 b の外部に配置されている加工光源 1 1 1 から射出された加工光 E L 及び / 又は加工ヘッド 1 1 b の外部に配置されている計測

10

20

30

40

50

光源 1 1 3 から射出された計測光 M L をワーク W に対して射出する。具体的には、加工光源 1 1 1 から射出された加工光 E L は、光ファイバ等の光伝送部材 1 1 1 1 b を介して筐体 1 1 7 の外部から筐体 1 1 7 の内部の加工光学系 1 1 2 に入射する。同様に、計測光源 1 1 3 から射出された計測光 M L は、光ファイバ等の光伝送部材 1 1 3 1 b を介して筐体 1 1 7 の外部から筐体 1 1 7 の内部の計測光学系 1 1 4 に入射する。図 1 3 に示す例では、計測光源 1 1 3 # 1 から射出された計測光 M L # 1 は、光伝送部材 1 1 3 1 b # 1 を介して筐体 1 1 7 の外部から筐体 1 1 7 の内部の計測光学系 1 1 4 に入射し、計測光源 1 1 3 # 2 から射出された計測光 M L # 2 は、光伝送部材 1 1 3 1 b # 2 を介して筐体 1 1 7 の外部から筐体 1 1 7 の内部の計測光学系 1 1 4 に入射する。

【 0 1 3 0 】

10

尚、加工光源 1 1 1 及び計測光源 1 1 3 のうち一方が筐体 1 1 7 の内部に配置され、他方が筐体 1 1 7 の外部に配置されていてもよい。また、計測光源 1 1 3 # 1、1 1 3 # 2 のうち筐体 1 1 7 の内部に配置され、他方が筐体 1 1 7 の外部に配置されていてもよい。

【 0 1 3 1 】

このような第 2 実施形態の加工システム S Y S b は、上述した第 1 実施形態の加工システム S Y S a が享受可能な効果と同様の効果を楽しむことができる。更に、第 2 実施形態では、加工ヘッド 1 1 b の筐体 1 1 7 の内部に加工光源 1 1 1 及び計測光源 1 1 3 の少なくとも一方が配置されなくてもよくなる。つまり、加工ヘッド 1 1 b は、加工光源 1 1 1 及び計測光源 1 1 3 の少なくとも一方を備えていなくてもよくなる。このため、加工ヘッド 1 1 b の小型化及び / 又は軽量化が可能となる。

20

【 0 1 3 2 】

(3) 第 3 実施形態の加工システム S Y S c

続いて、第 3 実施形態の加工システム S Y S (以降、第 3 実施形態の加工システム S Y S を、“加工システム S Y S c” と称する) について説明する。第 3 実施形態の加工システム S Y S c は、上述した第 2 実施形態の加工システム S Y S b と比較して、加工装置 1 b に代えて、加工装置 1 c を備えているという点で異なる。加工システム S Y S c のその他の特徴は、加工システム S Y S b のその他の特徴と同一であってもよい。加工装置 1 c は、加工装置 1 b と比較して、加工ヘッド 1 1 b に代えて、加工ヘッド 1 1 c を備えているという点で異なる。加工装置 1 c のその他の特徴は、加工装置 1 b のその他の特徴と同一であってもよい。従って、以下では、図 1 4 を参照しながら、第 3 実施形態の加工ヘッド 1 1 c について説明する。図 1 4 は、第 3 実施形態の加工ヘッド 1 1 c の構造の一例を示す断面図である。

30

【 0 1 3 3 】

図 1 4 に示すように、加工ヘッド 1 1 c は、加工光学系 1 1 2 及び / 又は計測光学系 1 1 4 の少なくとも一部が筐体 1 1 7 の外部に配置されているという点で、加工光学系 1 1 2 及び計測光学系 1 1 4 の双方が筐体 1 1 7 の内部に配置されている上述した加工ヘッド 1 1 b とは異なる。図 1 4 は、加工光学系 1 1 2 及び計測光学系 1 1 4 の双方が筐体 1 1 7 の外部に配置されている例を示している。更に、加工ヘッド 1 1 c は、加工ヘッド 1 1 b と比較して、合成光学系 1 1 5 に代えて合成光学系 1 1 5 c を備えているという点で異なる。加工ヘッド 1 1 c のその他の特徴は、加工ヘッド 1 1 b のその他の特徴と同一であ

40

【 0 1 3 4 】

この場合、加工ヘッド 1 1 c は、加工ヘッド 1 1 c の外部に配置されている加工光学系 1 1 2 から射出された加工光 E L 及び / 又は加工ヘッド 1 1 c の外部に配置されている計測光学系 1 1 4 から射出された計測光 M L をワーク W に対して射出する。具体的には、加工光学系 1 1 2 から射出された加工光 E L は、光ファイバ等の光伝送部材 1 1 1 1 c を介して筐体 1 1 7 の外部から筐体 1 1 7 の内部の合成光学系 1 1 5 c に入射する。同様に、計測光学系 1 1 4 から射出された計測光 M L (具体的には、計測光 M L # 2 - 2) は、光ファイバ等の光伝送部材 1 1 3 1 c を介して筐体 1 1 7 の外部から筐体 1 1 7 の内部の合成光学系 1 1 5 c に入射する。

50

【 0 1 3 5 】

合成光学系 1 1 5 c は、合成光学系 1 1 5 と比較して、集光レンズ 1 1 5 2 c 及び 1 1 5 3 c を備えているという点で異なる。合成光学系 1 1 5 c のその他の特徴は、合成光学系 1 1 5 のその他の特徴と同一であってもよい。光伝送部材 1 1 1 1 c を介して合成光学系 1 1 5 c に入射した加工光 E L は、集光レンズ 1 1 5 2 c を介してビームスプリッタ 1 1 5 1 に入射する。集光レンズ 1 1 5 2 c は、集光レンズ 1 1 5 2 c の前側焦点が光伝送部材 1 1 1 1 c の端面（具体的には、合成光学系 1 1 5 側の端面）に位置するように配置されている。その結果、集光レンズ 1 1 5 2 c は、発散光である加工光 E L を、平行光に変換する。このため、ビームスプリッタ 1 1 5 1 には、平行光に変換された加工光 E L が入射する。光伝送部材 1 1 3 1 c を介して合成光学系 1 1 5 c に入射した計測光 M L # 2 - 2 は、集光レンズ 1 1 5 3 c を介してビームスプリッタ 1 1 5 1 に入射する。集光レンズ 1 1 5 3 c は、集光レンズ 1 1 5 3 c の前側焦点が光伝送部材 1 1 3 1 c の端面（具体的には、合成光学系 1 1 5 側の端面）に位置するように配置されている。その結果、集光レンズ 1 1 5 3 c は、発散光である計測光 M L # 2 - 2 を、平行光に変換する。このため、ビームスプリッタ 1 1 5 1 には、平行光に変換された計測光 M L # 2 - 2 が入射する。

10

【 0 1 3 6 】

尚、加工光学系 1 1 2 の少なくとも一部が筐体 1 1 7 の外部に配置され、計測光学系 1 1 4 が筐体 1 1 7 の内部に配置されていてもよく、加工光学系 1 1 2 が筐体 1 1 7 の内部に配置され、計測光学系 1 1 4 の少なくとも一部が筐体 1 1 7 の外部に配置されていてもよい。また、加工光学系 1 1 2 の少なくとも一部が筐体 1 1 7 の外部に配置され、計測光学系 1 1 4 の少なくとも一部が筐体 1 1 7 の外部に配置されていてもよい。

20

【 0 1 3 7 】

このような第 3 実施形態の加工システム S Y S c は、上述した第 2 実施形態の加工システム S Y S b が享受可能な効果と同様の効果を楽しむことができる。更に、第 3 実施形態では、加工ヘッド 1 1 c の筐体 1 1 7 の内部に加工光学系 1 1 2 及び / 又は計測光学系 1 1 4 の少なくとも一部が配置されなくてもよくなる。つまり、加工ヘッド 1 1 c は、加工光学系 1 1 2 及び / 又は計測光学系 1 1 4 の少なくとも一部を備えていなくてもよくなる。このため、加工ヘッド 1 1 c の更なる小型化及び / 又は軽量化が可能となる。

【 0 1 3 8 】

尚、第 3 実施形態の加工ヘッド 1 1 c の構造の他の例を示す断面図である図 1 5 に示すように、加工ヘッド 1 1 c は、空間フィルタ 1 1 8 1 c を備えていてもよい。空間フィルタ 1 1 8 1 c は、例えば、開口 1 1 8 2 c が形成された遮光板であってもよい。空間フィルタ 1 1 8 1 c は、光伝送部材 1 1 3 1 c からの計測光 M L # 2 - 2 が開口 1 1 8 2 c を介して集光レンズ 1 1 5 3 c に入射し、且つ、集光レンズ 1 1 5 3 c からの計測光 M L # 2 - 3 が開口 1 1 8 2 c を介して光伝送部材 1 1 3 1 c に入射するように配置される。空間フィルタ 1 1 8 1 c の開口 1 1 8 2 c のサイズ（例えば、直径）は、光伝送部材 1 1 3 1 c を構成する光ファイバのコアのサイズ（例えば、直径）よりも小さくてもよい。空間フィルタ 1 1 8 1 c のうち合成光学系 1 1 5 側の面は、ナイフエッジ状の形状を有していてもよいし、任意の形状を有していてもよい。尚、空間フィルタ 1 1 8 1 c のうち光伝送部材 1 1 3 1 c 側の面は、ナイフエッジ状の形状を有していてもよい。空間フィルタ 1 1 8 1 c は、光伝送部材 1 1 3 1 c の端面（具体的には、合成光学系 1 1 5 側の端面）に配置されていてもよい。この場合、集光レンズ 1 1 5 3 c の前側焦点が光伝送部材 1 1 3 1 c の端面に位置するがゆえに、空間フィルタ 1 1 8 1 c は、集光レンズ 1 1 5 3 c の前側焦点位置に配置されていてもよい。この場合、集光レンズ 1 1 5 3 c の後側焦点位置は、f レンズ 1 1 6 2 の前側焦点位置と一致していてもよい。空間フィルタ 1 1 8 1 c は、ワーク W の表面と光学的に共役な位置に配置されていてもよい。このように空間フィルタ 1 1 8 1 c が配置されると、f レンズ 1 1 6 2、ビームスプリッタ 1 1 5 1 及び集光レンズ 1 1 5 3 c のうち少なくとも一つの光学面で発生した後に計測光学系 1 1 4 へと向かう迷光（ノイズ光）が低減可能となる。尚、光伝送部材 1 1 3 1 c の端面とワーク W との間に、ワーク W の表面と光学的に共役な位置（つまり、中間結像点）が存在する場合には

30

40

50

、空間フィルタ 1 1 8 1 c は、光伝送部材 1 1 3 1 c の端面とワーク W との間におけるワーク W の表面と光学的に共役な位置に配置されてもよい。空間フィルタ 1 1 8 1 c は、ワーク W に対して光学的なフーリエ変換となる位置（典型的には、f レンズ 1 1 6 2 の入射瞳位置及び/又は射出瞳位置）に配置されていてもよい。但し、空間フィルタ 1 1 8 1 c は、ワーク W の表面と光学的に共役な位置及び瞳位置とは異なる位置に配置されていてもよい。或いは、光伝送部材 1 1 3 1 c を構成する光ファイバのコアそのものを、空間フィルタ 1 1 8 1 c として用いてもよい。つまり、光伝送部材 1 1 3 1 c を構成する光ファイバのコアそのものが、空間フィルタ 1 1 8 1 c として機能してもよい。

【0139】

第3実施形態の加工ヘッド 1 1 c の構造の他の例を示す断面図である図 1 6 に示すように、加工光 E L の波長と計測光 M L の波長とが異なる場合には、加工ヘッド 1 1 c は、ダイクロイックフィルタ 1 1 8 3 c を備えていてもよい。ダイクロイックフィルタ 1 1 8 3 c は、加工光 E L の波長の光を反射し、且つ、計測光 M L の波長の光を透過するフィルタである。ダイクロイックフィルタ 1 1 8 3 c は、透過型のフィルタであってもよいし、反射型のフィルタであってもよい。ダイクロイックフィルタ 1 1 8 3 c は、光伝送部材 1 1 3 1 c の端面（具体的には、合成光学系 1 1 5 側の端面）とビームスプリッタ 1 1 5 1 との間における計測光 M L # 2 - 2 の光路上に配置されていてもよい。ダイクロイックフィルタ 1 1 8 3 c は、光伝送部材 1 1 3 1 c の端面とビームスプリッタ 1 1 5 1 との間において計測光 M L # 2 - 2 が平行光束となる位置（具体的には、集光レンズ 1 1 5 3 c とビームスプリッタ 1 1 5 1 の偏光分離面との間における計測光 M L # 2 - 2 の光路上）に配置されていてもよい。この場合も、f レンズ 1 1 6 2 及びビームスプリッタ 1 1 5 1 の少なくとも一方の光学面で発生した後に計測光学系 1 1 4 へと向かう迷光（ノイズ光）が低減可能となる。

【0140】

或いは、合成光学系 1 1 5 がビームスプリッタ 1 1 5 1 に代えてダイクロイックミラーを備えていてもよいことは上述したとおりである。合成光学系 1 1 5 がダイクロイックミラーを備える状況下で加工光 E L の偏光方向がダイクロイックミラーのダイクロイック面に対して p 偏光となり且つ計測光 M L # 2 - 2 の偏光方向がダイクロイックミラーのダイクロイック面に対して s 偏光となる場合には、加工ヘッド 1 1 c は、ダイクロイックフィルタ 1 1 8 3 c に代えて、偏光フィルタを備えていてもよい。偏光フィルタは、加工光 E L の偏光方向の光を遮光又は反射し、且つ、計測光 M L # 2 - 2 の偏光方向の光を透過するフィルタである。偏光フィルタは、透過型のフィルタであってもよいし、反射型のフィルタであってもよい。偏光フィルタは、ダイクロイックフィルタ 1 1 8 3 c が配置される位置と同じ位置に配置されてもよい。この場合も、f レンズ 1 1 6 2 及びビームスプリッタ 1 1 5 1 の少なくとも一方の光学面で発生した後に計測光学系 1 1 4 へと向かう迷光（ノイズ光）が低減可能となる。

【0141】

或いは、加工ヘッド 1 1 c は、ダイクロイックフィルタ 1 1 8 3 c 及び偏光フィルタに代えて、光アイソレータを備えていてもよい。光アイソレータは、偏光依存型の光アイソレータであってもよいし、偏光無依存型の光アイソレータであってもよい。光アイソレータは、ダイクロイックフィルタ 1 1 8 3 c が配置される位置と同じ位置又はその近傍の位置に配置されてもよい。この場合も、f レンズ 1 1 6 2 及びビームスプリッタ 1 1 5 1 の少なくとも一方の光学面で発生した後に計測光学系 1 1 4 へと向かう迷光（ノイズ光）が低減可能となる。

【0142】

第3実施形態の加工ヘッド 1 1 c の構造の他の例を示す断面図である図 1 7 に示すように、加工ヘッド 1 1 c は、波長板 1 1 8 4 c を備えていてもよい。波長板 1 1 8 4 c は、その光軸周りに又はその光軸と平行な軸周りに回転可能である。波長板 1 1 8 4 c は、集光レンズ 1 1 5 3 c とビームスプリッタ 1 1 5 1 の偏光分離面との間における計測光 M L # 2 - 2 の光路上に配置されていてもよい。加工ヘッド 1 1 c は、単一の波長板 1 1 8 4

cを備えていてもよいし、複数の波長板1184cを備えていてもよい。加工ヘッド11cが複数の波長板1184cを備えている場合には、複数の波長板1184cは、少なくとも一つの1/2波長板1184cと、少なくとも一つの1/4波長板1184cとを含んでいてもよい。この場合、1/4波長板1184cの軸周りの回転によって、計測光ML#2-2の偏光状態の一つである楕円度が調整されてもよい。1/2波長板1184cの軸周りの回転によって、計測光ML#2-2の偏光状態の一つである偏光方向が調整されてもよい。

【0143】

第3実施形態の加工ヘッド11cの構造の他の例を示す断面図である図18に示すように、光伝送部材1131cは、それぞれを計測光ML#2-2及び/又は計測光ML#2-3の少なくとも一部が伝搬可能な複数のコアを備えてもよい。複数のコアは、計測光ML#2-2及び/又は計測光ML#2-3の進行方向を横切る面に配列される。複数のコアを備えるために、光伝送部材1131cは、複数の光ファイバが束ねられた光ファイバ束を含んでいてもよい。ここで、複数の光ファイバが束ねられた光ファイバ束は複数本の光ファイバをその両端で同じ位置関係を保つように束ねたバンドルファイバ（いわゆるイメージファイバ）であってもよい。複数のコアを備えるために、光伝送部材1131cは、複数のコアとクラッドとが一体化されたイメージファイバ（つまり、複数のコアと当該複数のコアの間のクラッドとを有するイメージファイバ）を備えていてもよい。イメージファイバは、入射端のコアの配列と射出端のコアの配列とが同一（入射端のコアと射出端のコアとの位置関係が同じ）になっており、入射端の光量分布を射出端に伝送可能な光伝送部材であってもよい。光伝送部材1131cが複数のコアを備えている場合には、検出器1146は、少なくとも一つの方向に沿って複数の光電変換素子11461が配列された検出器であってもよい。例えば、図18に示すように、検出器1146は、一方向に複数の光電変換素子11461が配列された（つまり、複数の光電変換素子11461が一次的に配列された）検出器であってもよい。検出器1146は、二方向に複数の光電変換素子11461が配列された（つまり、複数の光電変換素子11461が二次元的に配列された）検出器であってもよい。更に、加工ヘッド11cは、光伝送部材1131cの端面（具体的には、検出器1146側の端面）と検出器1146の検出面（つまり、複数の光電変換素子11461が配列された面）とを光学的に共役な面とするための光学系1184cを備えていてもよい。図18に示す例では、光学系1184cは、光伝送部材1131cとビームスプリッタ1144との間に配置されているが、光学系1184cの配置位置がこの例に限定されることはない。このような図18に示す構造を加工ヘッド11cが有する場合には、ワークWの表面の面計測が可能になり、その結果、ワークWの計測に関するスループットが向上する。

【0144】

尚、図18に示す加工ヘッド11cを備える加工システムSYScは、計測光MLを用いてワークWを計測する計測装置（言い換えれば、測定装置）を備えているとも言える。具体的には、加工ヘッド11cは、計測光源112と、計測光学系114（特に、ミラー1145及び検出器1146）と、光伝送部材1131cと、共通光学系116（特に、f レンズ1162）と、制御装置5とを備える計測装置（言い換えれば、測定装置）を備えているとも言える。

【0145】

図14から図18に示す加工ヘッド11cにおいて、計測光ML#2-2及び/又はML#2-3の光路上に位置する光学部材の屈折面は、光軸と直交する面に対して傾斜するように配置されてもよい。例えば、計測光ML#2-2及び/又はML#2-3の光路において、偏光ビームスプリッタ1151の屈折面は、偏光ビームスプリッタ1151を含む光学系（この場合、合成光学系115c）の光軸と直交する面に対して傾斜するように配置されてもよい。偏光ビームスプリッタ1151の屈折面は、例えば、偏光ビームスプリッタ1151の光学面のうち計測光ML#2-2が入射し且つ計測光ML#2-3が射出される光学面（図14における+X側の光学面）と、偏光ビームスプリッタ1151の

光学面のうち計測光 M L # 2 - 2 が射出され且つ計測光 M L # 2 - 3 が入射する光学面（図 1 4 における - Z 側の光学面）とのうちの少なくとも一つを含んでいてもよい。また、図 1 6 に示す加工ヘッド 1 1 c において、計測光 M L # 2 - 2 及び / 又は M L # 2 - 3 の光路において、ダイクロイックミラー 1 1 8 3 c（或いは、偏光フィルタ又は光アイソレータ、以下この段落において同じ）の屈折面は、ダイクロイックミラー 1 1 8 3 c を含む光学系（例えば、合成光学系 1 1 5 c）の光軸と直交する面に対して傾斜するように配置されてもよい。ダイクロイックミラー 1 1 8 3 c の屈折面は、例えば、ダイクロイックミラー 1 1 8 3 c の光学面のうち計測光 M L # 2 - 2 が入射し且つ計測光 M L # 2 - 3 が射出される光学面（図 1 6 における + X 側の光学面）と、ダイクロイックミラー 1 1 8 3 c の光学面のうち計測光 M L # 2 - 2 が射出され且つ計測光 M L # 2 - 3 が入射する光学面（図 1 6 における - X 側の光学面）とのうちの少なくとも一つを含む。この場合も、f レンズ 1 1 6 2 及びビームスプリッタ 1 1 5 1 の少なくとも一方の光学面で発生した後に計測光学系 1 1 4 へと向かう迷光（ノイズ光）が低減可能となる。尚、説明の重複を避けるために図示しないものの、図 1 4 から図 1 8 に示す加工ヘッド 1 1 c において、加工光 E L の光路上に位置する光学部材の屈折面は、光軸と直交する面に対して傾斜するように配置されてもよい。

10

【 0 1 4 6 】

図 1 4 から図 1 8 に示す加工ヘッド 1 1 c において、f レンズ 1 1 6 2 を構成する複数のレンズのうちの少なくとも一つは、当該少なくとも一つのレンズの光軸が f レンズ 1 1 6 2 の光軸に対して傾斜するように配置されてもよい。f レンズ 1 1 6 2 を構成する複数のレンズのうちの少なくとも一つは、当該少なくとも一つのレンズの光軸が f レンズ 1 1 6 2 の光軸から離れる（つまり、偏心する）ように配置されてもよい。この場合も、f レンズ 1 1 6 2 の光学面で発生した後に計測光学系 1 1 4 へと向かう迷光（ノイズ光）が低減可能となる。

20

【 0 1 4 7 】

図 1 4 から図 1 8 に示す加工ヘッド 1 1 c において、共通光学系 1 1 6 は、計測光 M L の波長及び加工光 E L の波長に関して色収差補正がなされた色消しレンズを f レンズ 1 1 6 2 として含んでいてもよい。図 1 4 から図 1 8 に示す加工ヘッド 1 1 c において、集光レンズ 1 1 5 2 c の焦点距離と集光レンズ 1 1 5 3 c の焦点距離とは異なってもよい。一例として、計測光 M L の波長が加工光 E L の波長よりも短い場合には、集光レンズ 1 1 5 3 c の焦点距離は、集光レンズ 1 1 5 2 c の焦点距離よりも長くてよい。但し、集光レンズ 1 1 5 2 c の焦点距離と集光レンズ 1 1 5 3 c の焦点距離とは同じであってもよい。図 1 4 から図 1 8 に示す加工ヘッド 1 1 c において、計測光 M L の波長に関して、f レンズ 1 1 6 2 と集光レンズ 1 1 5 3 c とを含む光学系によって、ワーク W の表面と光伝送部材 1 1 3 1 c の端面（具体的には、合成光学系 1 1 5 側の端面）とが光学的に共役な位置関係となるように構成されていてもよい。図 1 4 から図 1 8 に示す加工ヘッド 1 1 c において、加工光 E L の波長に関して、f レンズ 1 1 6 2 と集光レンズ 1 1 5 2 c とを含む光学系によって、ワーク W の表面と光伝送部材 1 1 1 1 c の端面（具体的には、合成光学系 1 1 5 側の端面）とが光学的に共役な位置関係となるように構成されていてもよい。図 1 4 から図 1 8 に示す加工ヘッド 1 1 c において、集光レンズ 1 1 5 2 c 及び 1 1 5 3 c の少なくとも一方は、ズーム光学系であってもよい。集光レンズ 1 1 5 2 c がズーム光学系である場合には、集光レンズ 1 1 5 2 c によって加工光 E L のフォーカス位置が計測光 M L のフォーカス位置とは独立して調整可能となる。集光レンズ 1 1 5 3 c がズーム光学系である場合には、集光レンズ 1 1 5 3 c によって計測光 M L のフォーカス位置が加工光 E L のフォーカス位置とは独立して調整可能となる。

30

40

【 0 1 4 8 】

（ 4 ）第 4 実施形態の加工システム S Y S d

続いて、第 4 実施形態の加工システム S Y S（以降、第 4 実施形態の加工システム S Y S を、“加工システム S Y S d”と称する）について説明する。第 4 実施形態の加工システム S Y S d は、上述した第 1 実施形態の加工システム S Y S a と比較して、加工装置 1 に

50

代えて、加工装置 1 d を備えているという点で異なる。加工システム S Y S d のその他の特徴は、加工システム S Y S a のその他の特徴と同一であってもよい。加工装置 1 d は、加工装置 1 と比較して、加工ヘッド 1 1 に代えて、加工ヘッド 1 1 d を備えているという点で異なる。加工装置 1 d のその他の特徴は、加工装置 1 のその他の特徴と同一であってもよい。従って、以下では、図 1 9 を参照しながら、第 4 実施形態の加工ヘッド 1 1 d について説明する。図 1 9 は、第 4 実施形態の加工ヘッド 1 1 d の構造の一例を示す断面図である。

【 0 1 4 9 】

図 1 9 に示すように、加工ヘッド 1 1 d は、加工ヘッド 1 1 と比較して、計測光学系 1 1 4 に代えて計測光学系 1 1 4 d を備えているという点で異なる。加工ヘッド 1 1 d のその他の特徴は、加工ヘッド 1 1 のその他の特徴と同一であってもよい。

10

【 0 1 5 0 】

計測光学系 1 1 4 d は、計測光学系 1 1 4 と比較して、複数の計測光 M L を射出するという点で異なる。複数の計測光 M L を射出するために、計測光学系 1 1 4 d は、計測光学系 1 1 4 と比較して、ミラー 1 1 4 7 に代えて、ビームスプリッタ 1 1 4 7 d と、X 走査ミラー 1 1 4 8 d X とを備えているという点で異なる。計測光学系 1 1 4 d のその他の特徴は、計測光学系 1 1 4 のその他の特徴と同一であってもよい。

【 0 1 5 1 】

第 4 実施形態では、ビームスプリッタ 1 1 4 4 から射出された計測光 M L # 2 - 2 は、ビームスプリッタ 1 1 4 7 d に入射する。ビームスプリッタ 1 1 4 7 d は、ビームスプリッタ 1 1 4 7 d に入射した計測光 M L # 2 - 2 のうちの一部である計測光 M L # 2 - 2 1 を、合成光学系 1 1 5 に向けて射出する。計測光 M L # 2 - 2 1 は、合成光学系 1 1 5 及び共通光学系 1 1 6 を介して、ワーク W に照射される。このため、第 4 実施形態の計測光 M L # 2 - 2 1 は、第 1 実施形態の計測光 # 2 - 2 と同様の光路を介してワーク W に照射される。

20

【 0 1 5 2 】

計測光 M L # 2 - 2 1 の照射に起因してワーク W から射出される光の少なくとも一部（例えば、上述した反射光、散乱光、回折光及びノ又は透過光の少なくとも一部であり、以下、この光を“計測光 M L # 2 - 3 1”と称する）は、共通光学系 1 1 6 に入射する。共通光学系 1 1 6 に入射した計測光 M L # 2 - 3 1 は、f レンズ 1 1 6 2 及びガルバノミラー 1 1 6 1 を介して、合成光学系 1 1 5 に入射する。合成光学系 1 1 5 のビームスプリッタ 1 1 5 1 は、ビームスプリッタ 1 1 5 1 に入射した計測光 M L # 2 - 3 1 を、計測光学系 1 1 4 に向けて射出する。合成光学系 1 1 5 から計測光学系 1 1 4 に入射した計測光 M L # 2 - 3 1 は、ビームスプリッタ 1 1 4 7 d、ビームスプリッタ 1 1 4 4 及びビームスプリッタ 1 1 4 2 を介して検出器 1 1 4 6 に入射する。このため、第 4 実施形態の計測光 M L # 2 - 3 1 は、第 1 実施形態の計測光 # 2 - 3 と同様の光路を介して検出器 1 1 4 6 に入射する。このため、検出器 1 1 4 6 は、計測光 M L # 1 - 3 と計測光 M L # 2 - 3 1 との干渉光を検出する。

30

【 0 1 5 3 】

一方で、ビームスプリッタ 1 1 4 7 d は、ビームスプリッタ 1 1 4 7 d に入射した計測光 M L # 2 - 2 のうちの他の一部である計測光 M L # 2 - 2 2 を、X 走査ミラー 1 1 4 8 d X に向けて射出する。X 走査ミラー 1 1 4 8 d X は、計測光 M L # 2 - 2 2 を偏向することで、ワーク W 上での計測光 M L # 2 - 2 2 の照射位置を変更する。具体的には、X 走査ミラー 1 1 4 8 d X は、ワーク W 上での計測光 M L # 2 - 2 2 の X 軸方向に沿った照射位置を変更するように揺動又は回転する（つまり、計測光 M L # 2 - 2 2 の光路に対する X 走査ミラー 1 1 4 8 d X の角度を変更する）ことで計測光 M L # 2 - 2 2 を偏向する。

40

【 0 1 5 4 】

X 走査ミラー 1 1 4 8 d X から射出された計測光 M L # 2 - 2 2 は、共通光学系 1 1 6 の Y 走査ミラー 1 1 6 1 Y に入射する。Y 走査ミラー 1 1 6 1 Y は、ワーク W 上での計測光 M L # 2 - 2 2 の Y 軸方向に沿った照射位置を変更するように揺動又は回転する（つま

50

り、計測光 M L # 2 - 2 2 の光路に対する Y 走査ミラー 1 1 6 1 Y の角度を変更する) ことで計測光 M L # 2 - 2 2 を偏向する。Y 走査ミラー 1 1 6 1 Y から射出された計測光 M L # 2 - 2 2 は、f レンズ 1 1 6 2 を介してワーク W に照射される。その結果、共通光学系 1 1 6 は、複数の計測光 M L (図 1 9 に示す例では、2 つの計測光 M L # 2 - 2 1 及び M L # 2 - 2 2) をワーク W に向けて射出する。

【 0 1 5 5 】

共通光学系 1 1 6 は、ワーク W 上の異なる位置に向けて複数の計測光 M L をそれぞれ射出してもよい。つまり、共通光学系 1 1 6 は、ワーク W 上での計測光 M L # 2 - 2 1 の照射位置と、ワーク W 上での計測光 M L # 2 - 2 2 の照射位置とが異なるように、複数の計測光 M L を射出してもよい。共通光学系 1 1 6 は、計測光 M L # 2 - 2 1 が照射される被照射領域 M A # 1 の位置と、計測光 M L # 2 - 2 2 が照射される被照射領域 M A # 2 の位置とが異なるように、複数の計測光 M L を射出してもよい。典型的には、計測光 M L # 2 - 2 2 の照射位置とは独立して計測光 M L # 2 - 2 1 の照射位置を変更可能な X 走査ミラー 1 1 6 1 X と、計測光 M L # 2 - 2 1 の照射位置とは独立して計測光 M L # 2 - 2 2 の照射位置を変更可能な X 走査ミラー 1 1 4 8 d X とは、共通光学系 1 1 6 がワーク W 上の異なる位置に向けて計測光 M L # 2 - 2 1 及び M L # 2 - 2 2 をそれぞれ射出するように、計測光 M L # 2 - 2 1 及び M L # 2 - 2 2 をそれぞれ偏向してもよい。

【 0 1 5 6 】

計測光 M L # 2 - 2 2 の照射に起因してワーク W から射出される光の少なくとも一部 (例えば、上述した反射光、散乱光、回折光及び / 又は透過光の少なくとも一部であり、以下、この光を “ 計測光 M L # 2 - 3 2 ” と称する) は、共通光学系 1 1 6 に入射する。共通光学系 1 1 6 に入射した計測光 M L # 2 - 3 2 は、f レンズ 1 1 6 2 及び Y 走査ミラー 1 1 6 1 Y を介して、X 走査ミラー 1 1 4 8 d X に入射する。X 走査ミラー 1 1 4 8 d X に入射した計測光 M L # 2 - 3 2 は、X 走査ミラー 1 1 4 8 d X、ビームスプリッタ 1 1 4 7 d、ビームスプリッタ 1 1 4 4 及びビームスプリッタ 1 1 4 2 を介して検出器 1 1 4 6 に入射する。このため、検出器 1 1 4 6 は、計測光 M L # 1 - 3 と計測光 M L # 2 - 3 2 との干渉光を検出する。

【 0 1 5 7 】

尚、計測光 M L # 2 - 2 2 は、共通光学系 1 1 6 の Y 走査ミラー 1 1 6 1 Y に入射しなくてもよい。この場合、Y 走査ミラー 1 1 6 1 Y の近傍の計測光 M L # 2 - 2 2 の光路に配置され、ワーク W 上での計測光 M L # 2 - 2 2 の Y 軸方向に沿った照射位置を変更するように揺動又は回転する別の Y 走査ミラー (図示せず) を備えていてもよい。この別の Y 走査ミラーは、計測光 M L # 2 - 2 2 の光路に対する別の Y 走査ミラーの角度を変更してもよい。このとき、計測光 M L # 2 - 2 1 はなくてもよい。つまり、第 4 実施形態では、共通光学系 1 1 6 は必須ではない。

【 0 1 5 8 】

制御装置 5 は、検出器 1 1 4 3 の検出結果及び検出器 1 1 4 6 の検出結果に基づいて、ワーク W の状態を算出する。ここで、上述したように、第 4 実施形態では、検出器 1 1 4 6 は、複数の干渉光を検出する。制御装置 5 は、複数の干渉光の検出結果を、それぞれ異なる用途で用いてもよい。例えば、制御装置 5 は、第 1 の干渉光 (例えば、計測光 M L # 1 - 3 と計測光 M L # 2 - 3 1 との干渉光) の検出結果を、第 1 の用途で用いてもよい。つまり、制御装置 5 は、第 1 の干渉光の検出結果に基づいて、第 1 の用途で用いるワーク W の状態を算出してもよい。この場合、計測光 M L # 2 - 2 1 は、第 1 の用途で用いられる計測光 M L に相当する。更に、例えば、制御装置 5 は、第 2 の干渉光 (例えば、計測光 M L # 1 - 3 と計測光 M L # 2 - 3 2 との干渉光) の検出結果の検出結果を、第 2 の用途で用いてもよい。つまり、制御装置 5 は、第 2 の干渉光の検出結果に基づいて、第 1 の用途とは異なる第 2 の用途で用いるワーク W の状態を算出してもよい。

【 0 1 5 9 】

第 1 の用途の一例として、ワーク W の形状を特定するという用途があげられる。第 2 の用途の一例として、ワーク W の位置 (特に、加工ヘッド 1 1 に対するワーク W の相対位置

10

20

30

40

50

）を特定するという用途があげられる。ワークWの位置に関する情報は、主として、ワークWに対する加工ヘッド11の位置、ワークW上での加工光ELの照射位置及び／又はワークW上での計測光MLの照射位置を制御するために用いられる。このため、第2の用途の一例として、ワークWの位置（特に、加工ヘッド11に対するワークWの相対位置）に基づいて、ワークWに対する加工ヘッド11の位置、ワークW上での加工光ELの照射位置及び／又はワークW上での計測光MLの照射位置を制御するという用途があげられる。この場合、制御装置5は、第1の干渉光（例えば、計測光ML#1-3と計測光ML#2-31との干渉光）の検出結果に基づいて、ワークWの形状を特定してもよい。更に、制御装置5は、第2の干渉光（例えば、計測光ML#1-3と計測光ML#2-32との干渉光）の検出結果に基づいて、形状が特定されたワークWの所望位置に加工光EL及び／又は計測光MLが照射されるように、ワークWに対する加工ヘッド11の位置、ワークW上での加工光ELの照射位置及び／又はワークW上での計測光MLの照射位置を制御してもよい。

10

【0160】

このような第4実施形態の加工システムSYSDは、上述した第1実施形態の加工システムSYSaが享受可能な効果と同様の効果を享受することができる。更に、第4実施形態の加工システムSYSDは、用途が異なる複数の計測光MLをワークWに照射することができる。このため、加工システムSYSDは、複数の計測光MLの検出結果（つまり、複数の干渉光の検出結果）に基づいて、ワークWを適切に加工することができる。

【0161】

20

尚、計測光学系114dは、ビームスプリッタ1147dに代えて、計測光ML#2-2の光路に挿脱可能なミラーを備えていてもよい。このミラーは、計測光ML#2-2の光路に挿入された（つまり、配置された）状態で、計測光ML#2-2を合成光学系115に向けて反射してもよい。一方で、このミラーは、計測光ML#2-2の光路から外れた状態では、計測光ML#2-2の光路に影響を与えない。この場合、ビームスプリッタ1144からの計測光ML#2-2がX走査ミラー1148dXに入射するように、X走査ミラー1148dXが配置されていてもよい。

【0162】

また、上述した説明では、計測光学系114dは、X走査ミラー1148dXを備えている。これは、ガルバノミラー1161においてY走査ミラー1161YがX走査ミラー1161XよりもワークWに近い側に配置され且つX走査ミラー1148dXから射出された計測光ML#2-2がガルバノミラー1161のY走査ミラー1161Yに入射するからである。しかしながら、ガルバノミラー1161においてX走査ミラー1161XがY走査ミラー1161YよりもワークWに近い側に配置されている場合には、計測光学系114dは、X走査ミラー1148dXに加えて又は代えて、Y走査ミラーを備えていてもよい。計測光学系114dのY走査ミラーは、ワークW上での計測光ML#2-22のY軸方向に沿った照射位置を変更するように揺動又は回転する（つまり、計測光ML#2-22の光路に対するY走査ミラーの角度を変更する）ことで計測光ML#2-22を偏向する。更に、計測光学系114dのY走査ミラーから射出される計測光ML#2-22は、ガルバノミラー1161のX走査ミラー1161Xに入射してもよい。

30

40

【0163】

また、第4実施形態においても、上述した第2実施形態から第3実施形態の少なくとも一つで説明された構成要件が採用されてもよい。第2実施形態で説明された構成要件は、加工光源111及び計測光源113の少なくとも一方の筐体117の外部への配置に関する構成要件を含む。第3実施形態で説明された構成要件は、加工光学系112及び計測光学系114の少なくとも一方の筐体117の外部への配置に関する構成要件を含む。

【0164】

（5）第5実施形態の加工システムSYSe

続いて、第5実施形態の加工システムSYS（以降、第5実施形態の加工システムSYSを、“加工システムSYSe”と称する）について説明する。第5実施形態の加工システ

50

ムシステムS Y S eは、上述した第1実施形態の加工システムS Y S aと比較して、加工装置1に代えて、加工装置1 eを備えているという点で異なる。加工システムS Y S eのその他の特徴は、加工システムS Y S aのその他の特徴と同一であってもよい。加工装置1 eは、加工装置1と比較して、加工ヘッド11に代えて、加工ヘッド11 eを備えているという点で異なる。加工装置1 eのその他の特徴は、加工装置1のその他の特徴と同一であってもよい。従って、以下では、図20を参照しながら、第5実施形態の加工ヘッド11 eについて説明する。図20は、第5実施形態の加工ヘッド11 eの構造の一例を示す断面図である。

【0165】

図20に示すように、加工ヘッド11 eは、加工ヘッド11と比較して、計測光学系114に代えて計測光学系114 eを備えているという点で異なる。加工ヘッド11 eのその他の特徴は、加工ヘッド11のその他の特徴と同一であってもよい。

【0166】

計測光学系114 eは、計測光学系114と比較して、ガルバノミラー1148 eを備えているという点で異なる。計測光学系114 eのその他の特徴は、計測光学系114のその他の特徴と同一であってもよい。

【0167】

第4実施形態では、ビームスプリッタ1144から射出された計測光M L # 2 - 2（つまり、ミラー1147を介して射出された計測光M L # 2 - 2は、ガルバノミラー1148 eに入射する。ガルバノミラー1148 eは、計測光M L # 2 - 2を偏向する（つまり、射出角度を変更する）ことで、ワークW上での計測光M L # 2 - 2の照射位置を変更する。例えば、ガルバノミラー1148 eは、X走査ミラー1148 e Xと、Y走査ミラー1148 e Yを含む。X走査ミラー1148 e X及びY走査ミラー1148 e Yのそれぞれは、ガルバノミラー1148 eに入射する計測光M L # 2 - 2の光路に対する角度が変更される傾斜角可変ミラーである。X走査ミラー1148 e Xは、ワークW上での計測光M L # 2 - 2のX軸方向に沿った照射位置を変更するように揺動又は回転する（つまり、計測光M L # 2 - 2の光路に対するX走査ミラー1148 e Xの角度を変更する）ことで計測光M L # 2 - 2を偏向する。Y走査ミラー1148 e Yは、ワークW上での計測光M L # 2 - 2のY軸方向に沿った照射位置を変更するように揺動又は回転する（つまり、計測光M L # 2 - 2の光路に対するY走査ミラー1148 e Yの角度を変更する）ことで計測光M L # 2 - 2を偏向する。

【0168】

ガルバノミラー1148 eは、偏向した計測光M L # 2 - 2を、合成光学系115に向けて射出する。計測光M L # 2 - 2は、合成光学系115及び共通光学系116を介して、ワークWに照射される。更に、計測光M L # 2 - 2の照射に起因してワークWから射出される光の少なくとも一部である計測光M L # 2 - 3は、共通光学系116及び合成光学系115を介して計測光学系114 eのガルバノミラー1148 eに入射する。ガルバノミラー1148 eに入射した計測光M L # 2 - 3は、ガルバノミラー1148 e、ミラー1147、ビームスプリッタ1144及びビームスプリッタ1142を介して検出器1146に入射する。

【0169】

尚、計測光学系114 eは、ガルバノミラー1148 eに代えて／加えて、位置調整光学系（図示せず）を備えていてもよい。この位置調整光学系は、計測光学系114 eからの計測光M L 2 - 2の、計測光M L 2 - 2の光路と直交する面における位置を任意の位置とするために、計測光M L 2 - 2の進行方向に対して傾斜可能な平行平板を有していてもよい。

【0170】

このような第5実施形態の加工システムS Y S eは、上述した第1実施形態の加工システムS Y S aが享受可能な効果と同様の効果を享受することができる。更に、第5実施形態の加工システムS Y S eは、加工光E Lを偏向することなく計測光M L # 2 - 2を偏向

10

20

30

40

50

可能なガルバノミラー 1148e を備えている。このため、加工システム S Y S e は、ワーク W 上での加工光 E L の照射位置に対して、ワーク W 上での計測光 M L # 2 - 2 の照射位置を移動させることができる。加工システム S Y S e は、加工光 E L が照射される被照射領域 E A に対して、計測光 M L # 2 - 2 が照射される被照射領域 M A を移動させることができる。このように、加工システム S Y S e は、ワーク W 上での加工光 E L の照射位置と、ワーク W 上での計測光 M L # 2 - 2 の照射位置とを独立して変更することができる。加工システム S Y S e は、被照射領域 E A の位置と被照射領域 M A の位置とを独立して偏光することができる。

【0171】

尚、第5実施形態においても、上述した第2実施形態から第4実施形態の少なくとも一つで説明された構成要件が採用されてもよい。第4実施形態で説明された構成要件は、複数の計測光 M L の射出に関する構成要件を含む。

【0172】

(6) 第6実施形態の加工システム S Y S f

続いて、第6実施形態の加工システム S Y S (以降、第6実施形態の加工システム S Y S を、“加工システム S Y S f”と称する)について説明する。第6実施形態の加工システム S Y S f は、上述した第1実施形態の加工システム S Y S a と比較して、加工装置 1 に代えて、加工装置 1 f を備えているという点で異なる。加工システム S Y S f のその他の特徴は、加工システム S Y S a のその他の特徴と同一であってもよい。加工装置 1 f は、加工装置 1 と比較して、加工ヘッド 11 に代えて、加工ヘッド 11 f を備えているという点で異なる。加工装置 1 f のその他の特徴は、加工装置 1 のその他の特徴と同一であってもよい。加工ヘッド 11 f は、加工ヘッド 11 と比較して、共通光学系 116 が加工ヘッド 11 f に対して脱着可能であるという点で異なる。加工ヘッド 11 f は、加工ヘッド 11 と比較して、共通光学系 116 が交換可能であるという点で異なる。加工ヘッド 11 f のその他の特徴は、加工ヘッド 11 のその他の特徴と同一であってもよい。

【0173】

加工ヘッド 11 f には、それぞれが共通光学系 116 として利用可能な複数の異なる光学系候補 118 f の中から選択される一の光学系候補 118 f が取り付けられていてもよい。例えば、加工ヘッド 11 f には、複数の異なる光学系候補 118 f の中から、加工システム S Y S f の加工内容に応じて選択される一の光学系 118 f が取り付けられていてもよい。

【0174】

例えば、複数の光学系候補 118 f は、光学系候補 118 f の光軸(特に、加工光 E L 及び/又は計測光 M L の入射側の光軸)に対する加工光 E L 及び/又は計測光 M L の射出方向が異なる少なくとも二つの光学系候補 118 f を含んでいてもよい。この場合、加工ヘッド 11 f には、複数の光学系候補 118 f の中から、加工システム S Y S f の加工内容に適した射出方向に向けて加工光 E L 及び/又は計測光 M L を射出可能な一の光学系 118 f が取り付けられていてもよい。

【0175】

例えば、複数の光学系候補 118 f は、合成光学系 115 が加工光 E L 及び/又は計測光 M L を射出する位置から光学系候補 118 が加工光 E L 及び/又は計測光 M L を射出する位置までの距離が異なる少なくとも二つの光学系候補 118 f を含んでいてもよい。この場合、加工ヘッド 11 f には、複数の光学系候補 118 f の中から、合成光学系 115 が加工光 E L 及び/又は計測光 M L を射出する位置から光学系候補 118 が加工光 E L 及び/又は計測光 M L を射出する位置までの距離が加工システム S Y S f の加工内容に適した距離となる一の光学系 118 f が取り付けられていてもよい。

【0176】

例えば、複数の光学系候補 118 f は、加工光学系 112 が加工光 E L を射出する位置から光学系候補 118 が加工光 E L を射出する位置までの距離(つまり、加工光学系 112 から光学系候補 118 が加工光 E L を射出する位置までの距離)が異なる少なくとも二

10

20

30

40

50

つの光学系候補 1 1 8 f を含んでいてもよい。この場合、加工ヘッド 1 1 f には、複数の光学系候補 1 1 8 f の中から、加工光学系 1 1 2 が加工光 E L を射出する位置から光学系候補 1 1 8 が加工光 E L を射出する位置までの距離が加工システム S Y S f の加工内容に適した距離となる一の光学系 1 1 8 f が取り付けられていてもよい。

【 0 1 7 7 】

例えば、複数の光学系候補 1 1 8 f は、計測光学系 1 1 4 が計測光 M L を射出する位置から光学系候補 1 1 8 が計測光 M L を射出する位置までの距離（つまり、計測光学系 1 1 4 から光学系候補 1 1 8 が加工光 E L を射出する位置までの距離）が異なる少なくとも二つの光学系候補 1 1 8 f を含んでいてもよい。この場合、加工ヘッド 1 1 f には、複数の光学系候補 1 1 8 f の中から、計測光学系 1 1 4 が計測光 M L を射出する位置から光学系候補 1 1 8 が計測光 M L を射出する位置までの距離が加工システム S Y S f の加工内容に適した距離となる一の光学系 1 1 8 f が取り付けられていてもよい。

10

【 0 1 7 8 】

例えば、複数の光学系候補 1 1 8 f は、加工光 E L 及び / 又は計測光 M L が光学系候補 1 1 8 f に入射する位置から加工光 E L 及び / 又は計測光 M L が光学系候補 1 1 8 f から射出される位置までの距離（つまり、光学系候補 1 1 8 f の入射面から光学系候補 1 1 8 f の射出面までの距離）が異なる少なくとも二つの光学系候補 1 1 8 f を含んでいてもよい。この場合、加工ヘッド 1 1 f には、加工光 E L 及び / 又は計測光 M L が光学系候補 1 1 8 f に入射する位置から加工光 E L 及び / 又は計測光 M L が光学系候補 1 1 8 f から射出される位置までの距離が加工システム S Y S f の加工内容に適した距離となる一の光学系 1 1 8 f が取り付けられていてもよい。

20

【 0 1 7 9 】

以下、図 2 1 から図 2 3 を参照しながら、光学系候補 1 1 8 f の一例について説明する。

【 0 1 8 0 】

図 2 1 は、第 1 の光学系候補 1 1 8 f # 1 が共通光学系 1 1 6 として取り付けられた加工ヘッド 1 1 f を示す断面図である。図 2 1 に示すように、第 1 の光学系候補 1 1 8 f # 1 は、ガルバノミラー 1 1 6 1 と f レンズ 1 1 6 2 とを備える光学系である。つまり、第 1 の光学系候補 1 1 8 f # 1 は、図 3 等を参照しながら説明した第 1 実施形態の共通光学系 1 1 6 と同一である。第 1 の光学系候補 1 1 8 f # 1 は、第 1 の光学系候補 1 1 8 f # 1 の入射側の光軸に沿って加工光 E L 及び / 又は計測光 M L を射出可能な共通光学系 1 1 6 として機能可能である。第 1 の光学系候補 1 1 8 f # 1 の入射側の光軸が Z 軸に平行であるがゆえに、第 1 の光学系候補 1 1 8 f # 1 は、Z 軸方向に沿って加工光 E L 及び / 又は計測光 M L を射出可能な共通光学系 1 1 6 として機能可能である。このような第 1 の光学系候補 1 1 8 f # 1 は、例えば、ワーク W の表面のうち Z 軸に交差する表面を加工システム S Y S f が加工する場合に加工ヘッド 1 1 f に取り付けるべき共通光学系 1 1 6 として選択されてもよい。

30

【 0 1 8 1 】

図 2 2 は、第 2 の光学系候補 1 1 8 f # 2 が共通光学系 1 1 6 として取り付けられた加工ヘッド 1 1 f を示す断面図である。図 2 2 に示すように、第 2 の光学系候補 1 1 8 f # 2 は、筐体 1 1 6 1 f # 2 と、アクチュエータ 1 1 6 2 f # 2 と、集光レンズ 1 1 6 3 f # 2 と、スキャニングミラー 1 1 6 4 f # 2 とを備えている。筐体 1 1 6 1 f # 2 は、Z 軸方向に沿って延びる空間 1 1 6 5 f # 2 が内部に形成された円筒状の筐体である。アクチュエータ 1 1 6 2 f # 2 は、筐体 1 1 6 1 f # 2 を Z 軸周りに回転させるように動作する。筐体 1 1 6 1 f # 2 の空間 1 1 6 5 f # 2 には、集光レンズ 1 1 6 3 f # 2 と、スキャニングミラー 1 1 6 4 f # 2 とが配置されている。合成光学系 1 1 5 から射出された加工光 E L 及び / 又は計測光 M L は、筐体 1 1 6 1 f # 2 の上部に形成された開口 1 1 6 6 f # 2 から空間 1 1 6 5 f # 2 に入射する。空間 1 1 6 5 f # 2 に入射した加工光 E L 及び / 又は計測光 M L は、集光レンズ 1 1 6 3 f # 2 を介してスキャニングミラー 1 1 6 4 f # 2 に入射する。スキャニングミラー 1 1 6 4 f # 2 は、Z 軸方向に伝搬してきた加工光 E L 及び / 又は計測光 M L を、Z 軸に交差する方向に向けて反射する。第 2 の光学系候

40

50

補 1 1 8 f # 2 の入射側の光軸が Z 軸に平行であるがゆえに、第 2 の光学系候補 1 1 8 f # 2 は、第 2 の光学系候補 1 1 8 f # 2 の入射側の光軸に交差する方向に沿って加工光 E L 及び / 又は計測光 M L を射出可能な共通光学系 1 1 6 として機能可能である。この際、スキャニングミラー 1 1 6 4 f # 2 は、第 2 の光学系候補 1 1 8 f # 2 からの加工光 E L 及び / 又は計測光 M L の射出方向を X 軸周りに又は Y 軸周りに沿って変更するように揺動又は回転する。スキャニングミラー 1 1 6 4 f # 2 から射出された加工光 E L 及び / 又は計測光 M L は、筐体 1 1 6 1 f # 2 の側面に形成された開口 1 1 6 7 f # 2 を介して第 2 の光学系候補 1 1 8 f # 2 の外部に射出される。ここで、アクチュエータ 1 1 6 2 f # 2 による筐体 1 1 6 1 f # 2 の Z 軸周りの回転により、第 2 の光学系候補 1 1 8 f # 2 からの加工光 E L 及び / 又は計測光 M L の射出方向が Z 軸周りに変更される。このような第 2 の光学系候補 1 1 8 f # 2 は、例えば、ワーク W の表面のうち Z 軸に沿った表面を加工システム S Y S f が加工する場合に加工ヘッド 1 1 f に取り付けべき共通光学系 1 1 6 として選択されてもよい。第 2 の光学系候補 1 1 8 f # 2 は、例えば、ワーク W に円筒形の窪みを形成するように加工システム S Y S f がワーク W を加工する場合に加工ヘッド 1 1 f に取り付けべき共通光学系 1 1 6 として選択されてもよい。第 2 の光学系候補 1 1 8 f # 2 は、例えば、共通光学系 1 1 6 を取り囲む構造を形成するようにワーク W を加工する場合に加工ヘッド 1 1 f に取り付けべき共通光学系 1 1 6 として選択されてもよい。

【 0 1 8 2 】

図 2 3 は、第 3 の光学系候補 1 1 8 f # 3 が共通光学系 1 1 6 として取り付けられた加工ヘッド 1 1 f を示す断面図である。図 2 3 に示すように、第 3 の光学系候補 1 1 8 f # 3 は、筐体 1 1 6 1 f # 3 と、集光レンズ 1 1 6 2 f # 3 と、ガルバノミラー 1 1 6 3 f # 3 とを備えている。筐体 1 1 6 1 f # 3 は、Z 軸方向に沿って延びる空間 1 1 6 4 f # 3 が内部に形成された円筒状の筐体である。筐体 1 1 6 1 f # 3 の空間 1 1 6 4 f # 3 には、集光レンズ 1 1 6 2 f # 3 と、ガルバノミラー 1 1 6 3 f # 3 とが配置されている。合成光学系 1 1 5 から射出された加工光 E L 及び / 又は計測光 M L は、筐体 1 1 6 1 f # 3 の上部に形成された開口 1 1 6 5 f # 3 から空間 1 1 6 4 f # 3 に入射する。空間 1 1 6 4 f # 3 に入射した加工光 E L 及び / 又は計測光 M L は、集光レンズ 1 1 6 2 f # 3 を介してガルバノミラー 1 1 6 3 f # 3 に入射する。ガルバノミラー 1 1 6 3 f # 3 は、Z 軸方向に伝搬してきた加工光 E L 及び / 又は計測光 M L を、Z 軸に交差する方向に向けて反射する。第 3 の光学系候補 1 1 8 f # 3 の入射側の光軸が Z 軸に平行であるがゆえに、第 3 の光学系候補 1 1 8 f # 3 は、第 3 の光学系候補 1 1 8 f # 3 の入射側の光軸に交差する方向に沿って加工光 E L 及び / 又は計測光 M L を射出可能な共通光学系 1 1 6 として機能可能である。この際、ガルバノミラー 1 1 6 3 f # 3 は、第 2 の光学系候補 1 1 8 f # 2 からの加工光 E L 及び / 又は計測光 M L の射出方向を X 軸周りに及び Y 軸周りのそれぞれに沿って変更するように揺動又は回転する。具体的には、ガルバノミラー 1 1 6 3 f # 3 は、第 2 の光学系候補 1 1 8 f # 2 からの加工光 E L 及び / 又は計測光 M L の射出方向を X 軸周りに沿って変更するように揺動又は回転する X スキャニングミラー 1 1 6 3 f X # 3 と、第 2 の光学系候補 1 1 8 f # 2 からの加工光 E L 及び / 又は計測光 M L の射出方向を Y 軸周りに沿って変更するように揺動又は回転する Y スキャニングミラー 1 1 6 3 f Y # 3 とを含む。ガルバノミラー 1 1 6 3 f # 3 から射出された加工光 E L 及び / 又は計測光 M L は、筐体 1 1 6 1 f # 3 の側面に形成された開口 1 1 6 6 f # 3 を介して第 3 の光学系候補 1 1 8 f # 3 の外部に射出される。このような第 3 の光学系候補 1 1 8 f # 3 は、例えば、ワーク W の表面のうち Z 軸に沿った表面を加工システム S Y S f が加工する場合に加工ヘッド 1 1 f に取り付けべき共通光学系 1 1 6 として選択されてもよい。第 3 の光学系候補 1 1 8 f # 2 は、例えば、ワーク W に X 軸方向又は Y 軸方向に沿って延びるスリット（つまり、スリット状の窪みないしは溝）を形成するように加工システム S Y S f がワーク W を加工する場合に加工ヘッド 1 1 f に取り付けべき共通光学系 1 1 6 として選択されてもよい。

【 0 1 8 3 】

尚、第 6 実施形態では、共通光学系 1 1 6 を交換可能としたが、f レンズ 1 1 6 2 の

みを交換可能としてもよい。例えば、ビームスプリッタ 1 1 5 1 と集光レンズ 1 1 6 3 f # 2 との間に共通光学系 1 1 6 の少なくとも一部が配置されていてもよく、ビームスプリッタ 1 1 5 1 と集光レンズ 1 1 6 2 f # 3 との間に共通光学系 1 1 6 の少なくとも一部が配置されていてもよい。このとき、共通光学系 1 1 6 は、ガルバノミラー 1 1 6 4 f # 2 及びガルバノミラー 1 1 6 3 f # 3 による走査方向とは異なる方向に走査方向を有する走査ミラーを備えていてもよい。ここで、走査方向は、ワーク W 上で加工光及び / 又は計測光が移動する方向としてもよい。

【 0 1 8 4 】

このような第 6 実施形態の加工システム S Y S f は、上述した第 1 実施形態の加工システム S Y S a が享受可能な効果と同様の効果を楽しむことができる。更に、第 6 実施形態の加工システム S Y S f は、加工システム S Y S f の加工内容に適した共通光学系 1 1 6 を用いて、ワーク W を加工することができる。このため、より多様な加工内容でワーク W を加工することができる。

10

【 0 1 8 5 】

尚、上述した説明では、共通光学系 1 1 6 の全体が交換可能である。しかしながら、共通光学系 1 1 6 の全体が交換可能であることに代えて、共通光学系 1 1 6 の一部が交換可能であってもよい。つまり、共通光学系 1 1 6 を構成する複数の光学部材のうちの一部が交換可能であってもよい。

【 0 1 8 6 】

また、第 6 実施形態においても、上述した第 2 実施形態から第 5 実施形態の少なくとも一つで説明された構成要件が採用されてもよい。第 5 実施形態で説明された構成要件は、ワーク W 上での計測光 M L の照射位置の独立制御に関する構成要件を含む。

20

【 0 1 8 7 】

(7) 第 7 実施形態の加工システム S Y S g

続いて、図 2 4 を参照しながら、第 7 実施形態の加工システム S Y S (以降、第 7 実施形態の加工システム S Y S を、“加工システム S Y S g ” と称する) について説明する。図 2 4 は、第 7 実施形態の加工システム S Y S g の全体構造を模式的に示す断面図である。

【 0 1 8 8 】

図 2 4 に示すように、第 7 実施形態の加工システム S Y S g は、上述した第 1 実施形態の加工システム S Y S a と比較して、位置計測装置 6 g を更に備えているという点で異なる。加工システム S Y S g のその他の特徴は、加工システム S Y S a のその他の特徴と同一であってもよい。

30

【 0 1 8 9 】

位置計測装置 6 g は、ワーク W と加工ヘッド 1 1 との相対的な位置関係を計測する。第 7 実施形態では、位置計測装置 6 g は、加工ヘッド 1 1 に対するワーク W の位置を計測する。加工ヘッド 1 1 に対するワーク W の位置を計測するために、位置計測装置 6 g は、ワーク W を計測してもよい。尚、加工ヘッド 1 1 が各光学系を備えているため、ワーク W と加工ヘッド 1 1 との相対的な位置関係を計測する動作は、実質的には、ワーク W と加工ヘッド 1 1 が備える各光学系との相対的な位置関係を計測する動作と等価である。つまり、加工ヘッド 1 1 に対するワーク W の位置を計測する動作は、実質的には、加工ヘッド 1 1 が備える各光学系に対するワーク W の位置を計測する。

40

【 0 1 9 0 】

位置計測装置 6 g は、加工ヘッド 1 1 (特に、加工ヘッド 1 1 が備える各光学系) に対して固定された位置に配置されてもよい。位置計測装置 6 g は、加工ヘッド 1 1 に対する相対位置が固定された位置に配置されてもよい。位置計測装置 6 g は、ヘッド駆動系 1 2 が加工ヘッド 1 1 を移動させたとしても加工ヘッド 1 1 と位置計測装置 6 g との相対位置が変わらない位置に配置されてもよい。例えば、図 2 4 は、位置計測装置 6 g が、加工ヘッド 1 1 の外面 (例えば、筐体 1 1 7 の外面) に取り付けられている例を示している。

【 0 1 9 1 】

加工ヘッド 1 1 に対して固定された位置に位置計測装置 6 g が配置される場合には、位

50

位置計測装置 6 g からの出力（つまり、位置計測装置 6 g の計測結果）は、加工ヘッド 1 1 に対するワーク W の位置に関する情報を含むことになる。具体的には、位置計測装置 6 g の計測結果は、位置計測装置 6 g に対するワーク W の位置に関する情報を含む。つまり、位置計測装置 6 g の計測結果は、位置計測装置 6 g の計測座標系におけるワーク W の位置に関する情報を含む。ここで、加工ヘッド 1 1 に対して固定された位置に位置計測装置 6 g が配置されている場合には、位置計測装置 6 g に対するワーク W の位置に関する情報は、実質的には、位置計測装置 6 g に対して固定された位置に配置されている加工ヘッド 1 1 に対するワーク W の位置に関する情報を含むことになる。従って、制御装置 5 は、加工ヘッド 1 1 に対するワーク W の位置を適切に特定することができる。

【 0 1 9 2 】

10

位置計測装置 6 g は、ワーク W を計測可能である限りは、どのような種類の計測装置であってもよい。例えば、位置計測装置 6 g は、ワーク W 等の物体の表面を撮像可能な撮像装置（つまり、カメラ）を含んでいてもよい。位置計測装置 6 g は、ワーク W 上で所定のパターンを描く計測光をワーク W に照射する照射装置と、計測光によってワーク W に描かれたパターンを撮像する撮像装置とを含んでいてもよい。このように、位置計測装置 6 g は、非接触方式（一例として、光検出方式、音波検出方式及び電波検出方式等の少なくとも一つ）でワーク W を計測する計測装置であってもよい。

【 0 1 9 3 】

位置計測装置 6 g の計測結果（つまり、加工ヘッド 1 1 に対するワーク W の位置に関する情報）は、加工システム S Y S a を制御するために用いられてもよい。具体的には、位置計測装置 6 g の計測結果は、加工装置 1 を制御するために用いられてもよい。位置計測装置 6 g の計測結果は、加工ヘッド 1 1 を制御するために用いられてもよい。位置計測装置 6 g の計測結果は、ヘッド駆動系 1 2 を制御するために用いられてもよい。位置計測装置 6 g の計測結果は、ステージ装置 3 を制御するために用いられてもよい。位置計測装置 6 g の計測結果は、ステージ駆動系 3 3 を制御するために用いられてもよい。

20

【 0 1 9 4 】

例えば、制御装置 5 は、位置計測装置 6 g の計測結果に基づいて、ワーク W と加工ヘッド 1 1 との相対的な位置関係が所望の位置関係となるように、ワーク W と加工ヘッド 1 1 との相対的な位置関係を変更してもよい。つまり、制御装置 5 は、位置計測装置 6 g の計測結果に基づいて、ワーク W と加工ヘッド 1 1 との相対的な位置関係が所望の位置関係となるように、ワーク W と加工ヘッド 1 1 との相対的な位置関係を変更可能な装置を制御してもよい。ワーク W と加工ヘッド 1 1 との相対的な位置関係を変更可能な装置の一例については、既に上述したとおりである。また、「所望の位置関係」についても、既に上述したとおりである。

30

【 0 1 9 5 】

例えば、制御装置 5 は、位置計測装置 6 g の計測結果に基づいて、ワーク W と加工ヘッド 1 1 が備える各光学系（例えば、加工光学系 1 1 2、計測光学系 1 1 4、合成光学系 1 1 5 及び共通光学系 1 1 6 の少なくとも一つ）との相対的な位置関係が所望の関係となるように、ワーク W と加工ヘッド 1 1 が備える各光学系との相対的な位置関係を変更してもよい。つまり、制御装置 5 は、位置計測装置 6 g の計測結果に基づいて、ワーク W と加工ヘッド 1 1 が備える各光学系との相対的な位置関係が所望の関係となるように、ワーク W と加工ヘッド 1 1 が備える各光学系との相対的な位置関係を変更可能な装置を制御してもよい。ワーク W と加工ヘッド 1 1 が備える各光学系との相対的な位置関係を変更可能な装置の一例については、既に上述したとおりである。

40

【 0 1 9 6 】

例えば、制御装置 5 は、位置計測装置 6 g の計測結果に基づいて、ワーク W 上の所望位置に被照射領域 E A が設定される（つまり、加工光 E L が照射される）ように、ワーク W に対する被照射領域 E A の相対位置を変更してもよい。つまり、制御装置 5 は、位置計測装置 6 g の計測結果に基づいて、ワーク W 上の所望位置に被照射領域 E A が設定されるように、ワーク W に対する被照射領域 E A の相対位置を変更可能な装置を制御してもよい。

50

ワークWに対する被照射領域E Aの相対位置を変更可能な装置の一例については、既に上述したとおりである。

【0197】

例えば、制御装置5は、位置計測装置6gの計測結果に基づいて、ワークW上の所望位置に被照射領域MAが設定される（つまり、計測光ML#2-2が照射される）ように、ワークWに対する被照射領域MAの相対位置を変更してもよい。つまり、制御装置5は、位置計測装置6gの計測結果に基づいて、ワークW上の所望位置に被照射領域MAが設定されるように、ワークWに対する被照射領域MAの相対位置を変更可能な装置を制御してもよい。ワークWに対する被照射領域MAの相対位置を変更可能な装置の一例については、既に上述したとおりである。

10

【0198】

例えば、制御装置5は、検出器1143及び1146の検出結果から算出されるワークWの状態に基づいて第1の動作を行い、位置計測装置6gの計測結果に基づいて第2の動作を行ってもよい。例えば、制御装置5は、検出器1143及び1146の検出結果から算出されるワークWの状態に基づいてヘッド駆動系12の第1駆動系121を制御し、位置計測装置6gの計測結果に基づいてヘッド駆動系12の第2駆動系122を制御してもよい。より具体的には、制御装置5は、検出器1143及び1146の検出結果から算出されるワークWの状態に基づいて第1駆動系121を制御することで、ワークWに対して被照射領域E A及び/又は被照射領域MAを相対的に大まかに位置合わせしてもよい。その上で、制御装置5は、位置計測装置6gの計測結果に基づいて第2駆動系122を制御することで、ワークWに対して被照射領域E A及び/又は被照射領域MAをより高精度に位置合わせしてもよい。制御装置5は、位置計測装置6gの計測結果に基づいて第2駆動系122を制御することで、第1駆動系121の振動が第2駆動系122を介して加工ヘッド11に伝達されないように、第1駆動系121の振動を相殺してもよい。

20

【0199】

尚、第7実施形態において、位置計測装置6gは、加工ヘッド11の外面に取り付けられているが、位置計測装置6gの一部が加工ヘッド11の内部（筐体117の内部）に取り付けられていてもよく、位置計測装置6g全体が加工ヘッド11の内部（筐体117の内部）に取り付けられていてもよい。

【0200】

30

このような第7実施形態の加工システムSY S gは、上述した第1実施形態の加工システムSY S aが享受可能な効果と同様の効果を享受することができる。更に、第7実施形態の加工システムSY S gは、検出器1143及び1146の検出結果に加えて、位置計測装置6gの検出結果を用いてワークWを加工することができる。このため、加工システムSY S gは、より適切にワークWを加工することができる。例えば、加工システムSY S gは、より高精度にワークWを加工することができる。

【0201】

尚、第7実施形態においても、上述した第2実施形態から第6実施形態の少なくとも一つで説明された構成要件が採用されてもよい。第6実施形態で説明された構成要件は、共通光学系116の交換に関する構成要件を含む。

40

【0202】

(8) 第8実施形態の加工システムSY S h

続いて、第8実施形態の加工システムSY S（以降、第8実施形態の加工システムSY Sを、“加工システムSY S h”と称する）について説明する。第8実施形態の加工システムSY S hは、上述した第1実施形態の加工システムSY S aと比較して、加工装置1に代えて、加工装置1 hを備えているという点で異なる。加工システムSY S hのその他の特徴は、加工システムSY S aのその他の特徴と同一であってもよい。加工装置1 hは、加工装置1と比較して、加工ヘッド11に代えて、加工ヘッド11 hを備えているという点で異なる。加工装置1 hのその他の特徴は、加工装置1のその他の特徴と同一であってもよい。従って、以下では、図25を参照しながら、第8実施形態の加工ヘッド11 hに

50

について説明する。図 2 5 は、第 8 実施形態の加工ヘッド 1 1 h の構造の一例を示す断面図である。

【 0 2 0 3 】

図 2 5 に示すように、加工ヘッド 1 1 h は、加工ヘッド 1 1 と比較して、合成光学系 1 1 5 を備えていなくてもよいという点で異なる。更に、加工ヘッド 1 1 h は、加工ヘッド 1 1 と比較して、共通光学系 1 1 6 に代えて、加工照射光学系 1 1 8 h と、計測照射光学系 1 1 9 h とを備えているという点で異なる。加工ヘッド 1 1 h のその他の特徴は、加工ヘッド 1 1 のその他の特徴と同一であってもよい。

【 0 2 0 4 】

加工照射光学系 1 1 8 h には、加工光学系 1 1 2 から射出された加工光 E L が入射する。加工照射光学系 1 1 8 h は、加工照射光学系 1 1 8 h に入射した加工光 E L をワーク W に照射する。一方で、加工照射光学系 1 1 8 h には、計測光学系 1 1 4 から射出された計測光 M L # 2 - 2 が入射することはない。加工照射光学系 1 1 8 h は、計測光学系 1 1 4 から射出された計測光 M L # 2 - 2 をワーク W に照射することはない。

【 0 2 0 5 】

加工光 E L をワーク W に照射するために、加工照射光学系 1 1 8 h は、ガルバノミラー 1 1 8 1 h と、f レンズ 1 1 8 2 h とを備える。

【 0 2 0 6 】

ガルバノミラー 1 1 8 1 h には、加工光学系 1 1 2 から射出された加工光 E L が入射する。ガルバノミラー 1 1 8 1 h は、加工光 E L を偏向することで、ワーク W 上での加工光 E L の照射位置を変更する。例えば、ガルバノミラー 1 1 8 1 h は、X 走査ミラー 1 1 8 1 h X と、Y 走査ミラー 1 1 8 1 h Y とを含む。X 走査ミラー 1 1 8 1 h X 及び Y 走査ミラー 1 1 8 1 h Y のそれぞれは、ガルバノミラー 1 1 8 1 h に入射する加工光 E L の光路に対する角度が変更される傾斜角可変ミラーである。X 走査ミラー 1 1 8 1 h X は、ワーク W 上での加工光 E L の X 軸方向に沿った照射位置を変更するように揺動又は回転する（つまり、加工光 E L の光路に対する X 走査ミラー 1 1 8 1 h X の角度を変更する）ことで加工光 E L を偏向する。Y 走査ミラー 1 1 8 1 h Y は、ワーク W 上での加工光 E L の Y 軸方向に沿った照射位置を変更するように揺動又は回転する（つまり、加工光 E L の光路に対する Y 走査ミラー 1 1 8 1 h Y の角度を変更する）ことで加工光 E L を偏向する。このようなガルバノミラー 1 1 8 1 h の特性を考慮すれば、ガルバノミラー 1 1 8 1 h は、共通光学系 1 1 6 のガルバノミラー 1 1 6 1 と比較して、ワーク W 上での加工光 E L の照射位置を変更する一方で、ワーク W 上での計測光 M L の照射位置を変更しないという点で異なる。ガルバノミラー 1 1 8 1 h は、ガルバノミラー 1 1 6 1 と比較して、加工光 E L が通過する一方で計測光 M L が通過しないという点で異なる。ガルバノミラー 1 1 8 1 h のその他の特徴は、ガルバノミラー 1 1 6 1 のその他の特徴と同一であってもよい。

【 0 2 0 7 】

f レンズ 1 1 8 2 h には、ガルバノミラー 1 1 8 1 h からの加工光 E L が入射する。f レンズ 1 1 8 2 h は、ガルバノミラー 1 1 8 1 h からの加工光 E L をワーク W に照射するための光学系である。特に、f レンズ 1 1 8 2 h は、ガルバノミラー 1 1 8 1 h からの加工光 E L をワーク W 上に集光するための光学系である。このような f レンズ 1 1 8 2 h の特性を考慮すれば、f レンズ 1 1 8 2 h は、共通光学系 1 1 6 の f レンズ 1 1 6 2 と比較して、ワーク W に加工光 E L を照射する一方で、ワーク W 上に計測光 M L の照射位置を変更しないという点で異なる。f レンズ 1 1 8 2 h は、f レンズ 1 1 6 2 と比較して、加工光 E L が通過する一方で計測光 M L が通過しないという点で異なる。f レンズ 1 1 8 2 h のその他の特徴は、f レンズ 1 1 6 2 のその他の特徴と同一であってもよい。

【 0 2 0 8 】

計測照射光学系 1 1 9 h には、計測光学系 1 1 4 から射出された計測光 M L # 2 - 2 が入射する。計測照射光学系 1 1 9 h は、計測照射光学系 1 1 9 h に入射した計測光 M L # 2 - 2 をワーク W に照射する。一方で、計測照射光学系 1 1 9 h には、加工光学系 1 1 2

10

20

30

40

50

から射出された加工光E Lが入射することはない。計測照射光学系119hは、加工光学系112から射出された加工光E LをワークWに照射することはない。

【0209】

計測光M L # 2 - 2をワークWに照射するために、計測照射光学系119hは、ガルバノミラー1191hと、f レンズ1192hとを備える。

【0210】

ガルバノミラー1191hには、計測光学系114から射出された計測光M L # 2 - 2が入射する。ガルバノミラー1191hは、計測光M L # 2 - 2を偏向することで、ワークW上での計測光M L # 2 - 2の照射位置を変更する。例えば、ガルバノミラー1191hは、X走査ミラー1191hXと、Y走査ミラー1191hYとを含む。X走査ミラー1191hX及びY走査ミラー1191hYのそれぞれは、ガルバノミラー1191hに入射する計測光M L # 2 - 2の光路に対する角度が変更される傾斜角可変ミラーである。X走査ミラー1191hXは、ワークW上での計測光M L # 2 - 2のX軸方向に沿った照射位置を変更するように揺動又は回転する（つまり、計測光M L # 2 - 2の光路に対するX走査ミラー1191hXの角度を変更する）ことで計測光M L # 2 - 2を偏向する。Y走査ミラー1191hYは、ワークW上での計測光M L # 2 - 2のY軸方向に沿った照射位置を変更するように揺動又は回転する（つまり、計測光M L # 2 - 2の光路に対するY走査ミラー1191hYの角度を変更する）ことで計測光M L # 2 - 2を偏向する。このようなガルバノミラー1191hの特性を考慮すれば、ガルバノミラー1191hは、共通光学系116のガルバノミラー1161と比較して、ワークW上での計測光M L # 2 - 2の照射位置を変更する一方で、ワークW上での加工光E Lの照射位置を変更しないという点で異なる。ガルバノミラー1191hは、ガルバノミラー1161と比較して、計測光M Lが通過する一方で加工光E Lが通過しないという点で異なる。ガルバノミラー1191hのその他の特徴は、ガルバノミラー1161のその他の特徴と同一であってもよい。

【0211】

f レンズ1192hには、ガルバノミラー1191hからの計測光M L # 2 - 2が入射する。f レンズ1192hは、ガルバノミラー1191hからの計測光M L # 2 - 2をワークWに照射するための光学系である。特に、f レンズ1192hは、ガルバノミラー1191hからの計測光M L # 2 - 2をワークW上に集光するための光学系である。このようなf レンズ1192hの特性を考慮すれば、f レンズ1192hは、共通光学系116のf レンズ1162と比較して、ワークWに計測光M L # 2 - 2を照射する一方で、ワークW上に計測光M Lの照射位置を変更しないという点で異なる。f レンズ1192hは、f レンズ1162と比較して、計測光M Lが通過する一方で加工光E Lが通過しないという点で異なる。f レンズ1192hのその他の特徴は、f レンズ1162のその他の特徴と同一であってもよい。

【0212】

第8実施形態では、加工光E LをワークWに照射するf レンズ1182hの光軸と計測光M LをワークWに照射するf レンズ1192hの光軸とが互いにほぼ平行であった。しかしながら、f レンズ1182hの光軸とf レンズ1192hの光軸とは互いに平行でなくてもよい。例えば、ワークWの表面が位置する面又はその近傍においてf レンズ1182hの光軸とf レンズ1192hの光軸とが互いに交差するようにしてもよく、f レンズ1182hの視野とf レンズ1192hの視野との少なくとも一部同士が重複するようにf レンズ1182hの光軸とf レンズ1192hの光軸とを設定してもよい。これらの場合、f レンズ1182hの光軸がf レンズ1192h側に傾くと言ってもよく、f レンズ1192hの光軸がf レンズ1182h側に傾くと言ってもよい。また、f レンズ1182hの光軸とf レンズ1192hの光軸とは、f レンズ1182h、1192hが並ぶ面と交差する方向から両光軸をみたとき、両光軸が鋭角をなすように設定されていてもよい。

【0213】

このように、第8実施形態では、加工ヘッド11内において、加工光E Lに関する光学

10

20

30

40

50

系（具体的には、加工光学系 1 1 2 及び加工照射光学系 1 1 8 h）と計測光 M L に関する光学系（具体的には、計測光学系 1 1 4 及び計測照射光学系 1 1 9 h）とが光学的に分離されている。つまり、加工ヘッド 1 1 h は、加工光 E L 及び計測光 M L の双方が通過する光学素子又は光学部材を備えていなくてもよい。このような第 8 実施形態の加工システム S Y S h もまた、第 1 実施形態の加工システム S Y S a と同様に、加工光 E L を用いてワーク W を適切に加工し、且つ、計測光 M L を用いてワーク W を適切に計測することができる。

【 0 2 1 4 】

尚、第 8 実施形態において、ガルバノミラー 1 1 8 1 h からの加工光 E L とガルバノミラー 1 1 9 1 h からの計測光 M L とを 1 つの f レンズに入射させる構成であってもよい。

10

【 0 2 1 5 】

尚、第 8 実施形態においても、上述した第 2 実施形態から第 7 実施形態の少なくとも一つで説明された構成要件が採用されてもよい。第 7 実施形態で説明された構成要件は、位置計測装置 6 g に関する構成要件を含む。また、第 8 実施形態では、加工ヘッド 1 1 h が共通光学系 1 1 6 に代えて加工照射光学系 1 1 8 h 及び計測光学系 1 1 9 h を備えているため、共通光学系 1 1 6 に採用可能な構成要件が、加工照射光学系 1 1 8 h 及び計測光学系 1 1 9 h の少なくとも一方に採用されてもよい。例えば、加工照射光学系 1 1 8 h 及び計測光学系 1 1 9 h の少なくとも一方は、第 6 実施形態の共通光学系 1 1 6 と同様に交換可能であってもよい。

【 0 2 1 6 】

20

（ 9 ）第 9 実施形態の加工システム S Y S i

続いて、図 2 6 から図 2 7 を参照しながら、第 9 実施形態の加工システム S Y S （以降、第 9 実施形態の加工システム S Y S を、“加工システム S Y S i” と称する）について説明する。図 2 6 は、第 9 実施形態の加工システム S Y S i の全体構造を模式的に示す断面図である。図 2 7 は、第 9 実施形態の加工システム S Y S i のシステム構成を示すシステム構成図である。

【 0 2 1 7 】

図 2 6 及び図 2 7 に示すように、第 9 実施形態の加工システム S Y S i は、上述した第 1 実施形態の加工システム S Y S a と比較して、加工装置 1 に代えて加工装置 1 i を備えているという点で異なる。更に、第 9 実施形態の加工システム S Y S i は、上述した第 1 実施形態の加工システム S Y S a と比較して、計測装置 2 i を更に備えているという点で異なる。加工システム S Y S i のその他の特徴は、加工システム S Y S a のその他の特徴と同一であってもよい。

30

【 0 2 1 8 】

加工装置 1 i は、加工装置 1 と比較して、加工ヘッド 1 1 に代えて加工ヘッド 1 1 i を備えているという点で異なる。加工装置 1 i のその他の特徴は、加工装置 1 のその他の特徴と同一であってもよい。加工ヘッド 1 1 i は、ワーク W に対して加工光 E L を射出する一方で計測光 M L を射出しないという点で、ワーク W に対して加工光 E L 及び計測光 M L のそれぞれを射出する上述した加工ヘッド 1 1 とは異なる。このような加工ヘッド 1 1 i の構造の一例が図 2 8 に示されている。図 2 7 及び図 2 8 に示すように、加工ヘッド 1 1 i は、加工光源 1 1 1 と、加工光学系 1 1 2 と、加工照射光学系 1 1 8 h とを備えている。加工光源 1 1 1 と、加工光学系 1 1 2 と、加工照射光学系 1 1 8 h とは、加工ヘッド 1 1 i の筐体 1 1 7 内に收容されていてもよい。加工ヘッド 1 1 i は、図 2 5 に示す第 8 実施形態の加工ヘッド 1 1 h が備える複数の光学部材のうち加工光 E L の射出に寄与する光学部材を選択的に備えている光学部材であると言える。このため、加工ヘッド 1 1 i の詳細な説明は省略する。

40

【 0 2 1 9 】

計測装置 2 i は、ワーク W に対して計測光 M L を射出する計測ヘッド 2 1 i と、計測ヘッド 2 1 i を移動させるヘッド駆動系 2 2 i とを備える。計測ヘッド 2 1 i は、ワーク W に対して計測光 M L を射出することが可能な任意の部材を意味する。このため、計測ヘッ

50

ド 2 1 i は、ヘッドという文言を含んでいるものの、必ずしも何かの部材の先端に取り付けられる部材を意味していなくてもよい。このため、計測ヘッド 2 1 i は、計測部材と称されてもよい。

【 0 2 2 0 】

計測ヘッド 2 1 i は、ワーク W に対して計測光 M L を射出する一方で加工光 E L を射出しないという点で、ワーク W に対して加工光 E L 及び計測光 M L のそれぞれを射出する上述した加工ヘッド 1 1 とは異なる。このような計測ヘッド 2 1 i の構造の一例が図 2 9 に示されている。図 2 7 及び図 2 9 に示すように、計測ヘッド 2 1 i は、計測光源 1 1 3 と、計測光学系 1 1 4 と、計測照射光学系 1 1 9 h とを備えている。計測光源 1 1 3 と、計測光学系 1 1 4 と、計測照射光学系 1 1 9 h とは、計測ヘッド 2 1 i の筐体 2 1 7 i 内に収容されていてもよい。計測ヘッド 2 1 i は、図 2 5 に示す第 8 実施形態の加工ヘッド 1 1 h が備える複数の光学部材のうち計測光 M L の射出に寄与する光学部材を選択的に備えている光学部材であると言える。このため、計測ヘッド 2 1 i の詳細な説明は省略する。

10

【 0 2 2 1 】

ヘッド駆動系 2 2 i は、上述したヘッド駆動系 1 2 と同一の構造を有していてもよい。つまり、ヘッド駆動系 2 2 i は、第 1 駆動系 1 2 1 と第 2 駆動系 1 2 2 とを備えていてもよい。ヘッド駆動系 2 2 i と計測ヘッド 2 1 i とは、ヘッド駆動系 1 2 と加工ヘッド 1 1 とが接続される接続態様と同様の接続態様で接続されていてもよい。このため、ヘッド駆動系 2 2 i の詳細な説明は省略する。

【 0 2 2 2 】

20

第 9 実施形態では、加工ヘッド 1 1 i が移動すると、ワーク W 上での加工光 E L の照射位置が変わる一方で、ワーク W 上での計測光 M L の照射位置が変わらない。従って、第 9 実施形態において加工ヘッド 1 1 i を移動させることは、ワーク W 上での加工光 E L の照射位置（或いは、被照射領域 E A の位置）を変更することと等価である。一方で、計測ヘッド 2 1 i が移動すると、ワーク W 上での計測光 M L の照射位置が変わる一方で、ワーク W 上での加工光 E L の照射位置が変わらない。従って、第 9 実施形態において計測ヘッド 2 1 i を移動させることは、ワーク W 上での計測光 M L の照射位置（或いは、被照射領域 M A の位置）を変更することと等価である。このように、第 9 実施形態では、加工システム S Y S i は、ワーク W 上での加工光 E L の照射位置と、ワーク W 上での計測光 M L # 2 - 2 の照射位置とを独立して変更することができる。

30

【 0 2 2 3 】

第 9 実施形態では、ステージ 3 2 は、加工装置 1 i がワーク W に対して加工光 E L を射出するべき加工期間の少なくとも一部において、加工光 E L が照射される被照射領域 E A がワーク W 上に設定されるように、移動してもよい。ステージ 3 2 は、加工期間の少なくとも一部において、加工装置 1 i が加工光 E L を照射可能な位置にワーク W が位置するように、移動してもよい。一方で、ステージ 3 2 は、計測装置 2 i がワーク W に対して計測光 M L を射出するべき計測期間の少なくとも一部において、計測光 M L が照射される被照射領域 M A がワーク W 上に設定されるように、移動してもよい。ステージ 3 2 は、計測期間の少なくとも一部において、計測装置 2 i が計測光 M L を照射可能な位置にワーク W が位置するように、移動してもよい。つまり、ステージ 3 2 は、加工装置 1 i が加工光 E L を照射可能な位置と計測装置 2 i が計測光 M L を照射可能な位置との間で移動してもよい。

40

【 0 2 2 4 】

このように、第 9 実施形態では、第 8 実施形態と同様に、加工光 E L に関する光学系（具体的には、加工光学系 1 1 2 及び加工照射光学系 1 1 8 h）と計測光 M L に関する光学系（具体的には、計測光学系 1 1 4 及び計測照射光学系 1 1 9 h）とが光学的に分離されている。更には、第 9 実施形態では、ワーク W に対して加工光 E L を射出する装置（つまり、加工装置 1 i）と、ワーク W に対して計測光 M L を射出する装置（つまり、計測装置 2 i）とが別々の装置となっている。このような第 9 実施形態の加工システム S Y S i もまた、第 1 実施形態の加工システム S Y S a と同様に、加工光 E L を用いてワーク W を適切に加工し、且つ、計測光 M L を用いてワーク W を適切に計測することができる。

50

【 0 2 2 5 】

尚、第 9 実施形態においても、上述した第 2 実施形態から第 8 実施形態の少なくとも一つで説明された構成要件が採用されてもよい。第 8 実施形態で説明された構成要件は、加工光 E L に関する光学系と計測光 M L に関する光学系との光学的な分離に関する構成要件を含む。また、第 9 実施形態では、加工システム S Y S i が共通光学系 1 1 6 に代えて加工照射光学系 1 1 8 h 及び計測光学系 1 1 9 h を備えているため、共通光学系 1 1 6 に採用可能な構成要件が、加工照射光学系 1 1 8 h 及び計測光学系 1 1 9 h の少なくとも一方に採用されてもよい。例えば、加工照射光学系 1 1 8 h 及び計測光学系 1 1 9 h の少なくとも一方は、第 6 実施形態の共通光学系 1 1 6 と同様に交換可能であってもよい。

【 0 2 2 6 】

(1 0) 第 1 0 実施形態の加工システム S Y S j

続いて、図 3 0 を参照しながら、第 1 0 実施形態の加工システム S Y S (以降、第 1 0 実施形態の加工システム S Y S を、“加工システム S Y S j”と称する)について説明する。図 3 0 は、第 1 0 実施形態の加工システム S Y S j の全体構造を模式的に示す断面図である。

【 0 2 2 7 】

図 3 0 に示すように、第 1 0 実施形態の加工システム S Y S j は、上述した第 9 実施形態の加工システム S Y S i と比較して、ワーク W に対して計測光 M L が斜入射するように計測装置 2 i がワーク W に対して計測光 M L を射出するという点で異なる。加工システム S Y S j のその他の特徴は、加工システム S Y S i のその他の特徴と同一であってもよい。このような第 1 0 実施形態の加工システム S Y S j もまた、第 9 実施形態の加工システム S Y S i が享受可能な効果と同様の効果を享受することができる。更に、第 1 0 実施形態の加工システム S Y S j は、ワーク W 上の同じ位置に向けて加工光 E L と計測光 M L とを射出することができる。つまり、加工システム S Y S j は、加工装置 1 i と計測装置 2 i とが別々の装置となる場合であっても、加工光 E L の光路と計測光 M L の光路とが少なくとも部分的に重複するように、加工光 E L と計測光 M L とを射出することができる。その結果、ステージ 3 2 は、必ずしも、加工装置 1 i が加工光 E L を照射可能な位置と計測装置 2 i が計測光 M L を照射可能な位置との間で移動しなくてもよくなる。

【 0 2 2 8 】

尚、第 1 0 実施形態においても、上述した第 2 実施形態から第 9 実施形態の少なくとも一つで説明された構成要件が採用されてもよい。第 9 実施形態で説明された構成要件は、ワーク W に対して加工光 E L を射出する装置とワーク W に対して計測光 M L を射出する装置とが別々の装置になるという構成要件を含む。

【 0 2 2 9 】

(1 1) 第 1 1 実施形態の加工システム S Y S k

続いて、図 3 1 を参照しながら、第 1 1 実施形態の加工システム S Y S (以降、第 1 1 実施形態の加工システム S Y S を、“加工システム S Y S k”と称する)について説明する。図 3 1 は、第 1 1 実施形態の加工システム S Y S k の全体構造を模式的に示す断面図である。

【 0 2 3 0 】

図 3 1 に示すように、第 1 1 実施形態の加工システム S Y S k は、上述した第 1 0 実施形態の加工システム S Y S j と比較して、計測装置 2 i に代えて複数の計測装置 2 を備えているという点で異なる。図 3 1 に示す例では、加工システム S Y S k は、2 つの計測装置 2 k (具体的には、計測装置 2 k # 1 と計測装置 2 k # 2) を備えている。加工システム S Y S k のその他の特徴は、加工システム S Y S j のその他の特徴と同一であってもよい。

【 0 2 3 1 】

計測装置 2 k # 1 は、計測装置 2 i が備える光学部材のうちの一部を少なくとも備える装置である。計測装置 2 k # 2 は、計測装置 2 i が備える光学部材のうちの残りの一部(つまり、計測装置 2 k # 1 が備えていない光学部材)を少なくとも備える装置である。つ

10

20

30

40

50

まり、第 1 1 実施形態の加工システム S Y S k は、計測装置 2 i が更に複数の計測装置 2 k に分割されているという点で、上述した第 1 0 実施形態の加工システム S Y S j とは異なると言える。尚、計測装置 2 k # 1 及び 2 k # 2 は、同じ光学部材を備えていてもよい。つまり、計測装置 2 k # 1 及び 2 k # 2 は、同じ機能を有する又は同じ働きをする光学部材を備えていてもよい。

【 0 2 3 2 】

図 3 1 に示す例では、計測装置 2 k # 1 は、計測光源 1 1 3 と、計測光学系 1 1 4 のうちの一部に相当する計測光学系 1 1 4 # 1 と、計測照射光学系 1 1 9 h とを少なくとも備える。一方で、計測装置 2 k # 2 は、計測光学系 1 1 4 のうちの残りの一部に相当する（つまり、計測光学系 1 1 4 が備える複数の光学部材のうち計測光学系 1 1 4 # 1 が備えていない光学部材を少なくとも含む）計測光学系 1 1 4 # 2 を少なくとも備えている。特に、計測光学系 1 1 4 # 2 は、少なくとも検出器 1 1 4 6 を備えている。このため、図 3 1 に示す例では、計測光学系 1 1 4 # 1 からワーク W に対して計測光 M L（具体的には、計測光 M L # 2 - 2）が射出され、ワーク W からの計測光 M L（具体的には、計測光 # 2 - 3）が計測光学系 1 1 4 # 2 に入射する。

10

【 0 2 3 3 】

このような第 1 1 実施形態の加工システム S Y S k は、第 1 0 実施形態の加工システム S Y S j が享受可能な効果と同様の効果を楽しむことができる。

【 0 2 3 4 】

尚、第 1 1 実施形態においても、上述した第 2 実施形態から第 1 0 実施形態の少なくとも一つで説明された構成要件が採用されてもよい。第 1 0 実施形態で説明された構成要件は、ワーク W に対して計測光 M L が斜入射するという構成要件を含む。

20

【 0 2 3 5 】

（ 1 2 ） 第 1 2 実施形態の加工システム S Y S l

続いて、図 3 2 を参照しながら、第 1 2 実施形態の加工システム S Y S（以降、第 1 2 実施形態の加工システム S Y S を、“加工システム S Y S l”と称する）について説明する。図 3 2 は、第 1 2 実施形態の加工システム S Y S l の全体構造を模式的に示す断面図である。

【 0 2 3 6 】

図 3 2 に示すように、第 1 2 実施形態の加工システム S Y S l は、上述した第 1 0 実施形態の加工システム S Y S j と比較して、計測装置 2 i が計測可能な指標 1 3 l が加工装置 1 i に取り付けられているという点で異なる。例えば、指標 1 3 l は、加工装置 1 i の筐体 1 1 7（例えば、筐体 1 1 7 の外面）に取り付けられていてもよい。加工システム S Y S l のその他の特徴は、加工システム S Y S j のその他の特徴と同一であってもよい。

30

【 0 2 3 7 】

計測装置 2 i は、ワーク W に対して計測光 M L を射出することに加えて、指標 1 3 l に対して計測光 M L（具体的には、計測光 M L # 2 - 2）を射出する。例えば、計測装置 2 i は、ガルバノミラー 1 1 9 1 h で計測光 M L を偏向することで、指標 1 3 l に対して計測光 M L を射出してもよい。例えば、計測装置 2 i は、X 軸方向、Y 軸方向、Z 軸方向、X 方向、Y 方向及び Z 方向の少なくとも一つにおける計測装置 2 i の位置がヘッド駆動系 2 2 i によって変更されることで、指標 1 3 l に対して計測光 M L を射出してもよい。

40

【 0 2 3 8 】

計測装置 2 i は、加工装置 1 i がワーク W の加工を開始する前に（例えば、ステージ 3 2 にワーク W が載置されたタイミングで）、指標 1 3 l に対して計測光 M L を射出してもよい。計測装置 2 i は、加工装置 1 i がワーク W に加工光 E L を照射する前に、指標 1 3 l に対して計測光 M L を射出してもよい。計測装置 2 i は、加工装置 1 i がワーク W に加工光 E L を照射している期間の少なくとも一部において、指標 1 3 l に対して計測光 M L を射出してもよい。計測装置 2 i は、加工装置 1 i がワーク W に加工光 E L を照射した後、指標 1 3 l に対して計測光 M L を射出してもよい。計測装置 2 i は、加工装置 1 i が

50

ワークWの加工を完了した後に、指標131に対して計測光MLを射出してもよい。

【0239】

指標131に計測光ML（具体的には、計測光ML#2-2）が照射されると、計測光ML#2-2の照射に起因した光（例えば、上述した反射光、散乱光、回折光、及び透過光の少なくとも一つが指標131から発生する。このため、第12実施形態では、検出器1146には、計測光ML#2-2の照射に起因して指標131から射出される光の少なくとも一部を含む計測光ML#2-3が入射する。このため、制御装置5は、検出器1143及び1146の検出結果に基づいて、指標131の状態（具体的には、計測ヘッド21iに対する指標131の位置）を算出することができる。更に、指標131が加工ヘッド11iに取り付けられているがゆえに、制御装置5は、算出した指標131の位置に基づいて、計測ヘッド21iに対する加工ヘッド11iの位置を算出することができる。つまり、制御装置5は、計測ヘッド21iの基準点と加工ヘッド11iの基準点との相対的な位置関係（典型的には、計測ヘッド21iの基準点と加工ヘッド11iの基準点との間の距離）を算出することができる。

10

【0240】

制御装置5は、算出した計測ヘッド21iの基準点と加工ヘッド11iの基準点との相対的な位置関係に関する情報（以降、“ベースライン量”と称する）に基づいて、加工ヘッド11i及び/又は計測ヘッド21iの位置を制御してもよい。制御装置5は、ベースライン量に基づいて、ステージ32の位置を制御してもよい。制御装置5は、ベースライン量に基づいて、加工光ELの照射位置及び/又は計測光MLの照射位置を制御してもよい。例えば、制御装置5は、ベースライン量に基づいて、ワークWの所望位置に加工光ELが照射されるように、加工ヘッド11iの位置、計測ヘッド21iの位置、ステージ32の位置、加工光ELの照射位置及び/又は計測光MLの照射位置を制御してもよい。例えば、制御装置5は、ベースライン量に基づいて、ワークWの所望位置に計測光MLが照射されるように、加工ヘッド11iの位置、計測ヘッド21iの位置、ステージ32の位置、加工光ELの照射位置及び/又は計測光MLの照射位置を制御してもよい。

20

【0241】

このような第12実施形態の加工システムSYS1は、第10実施形態の加工システムSYSjが享受可能な効果と同様の効果を楽しむことができる。更に、加工システムSYS1は、ベースライン量に基づいてワークWを加工することができる。このため、仮に加工装置1iと計測装置2iとの位置関係が理想的な位置関係（典型的には、設計上の位置関係）からずれてしまった場合であっても、加工システムSYS1は、当該位置関係のずれが反映されたベースライン量に基づいてワークWを加工することができる。このため、加工システムSYS1は、ワークWをより適切に加工することができる。

30

【0242】

尚、第12実施形態においても、上述した第2実施形態から第11実施形態の少なくとも一つで説明された構成要件が採用されてもよい。第11実施形態で説明された構成要件は、計測ヘッド21iの分割に関する構成要件を含む。

【0243】

（13）その他の変形例

40

上述した説明では、加工システムSYSは、ワークWの表面にリブレット構造を形成している。しかしながら、加工システムSYSは、ワークWの表面上に、任意の形状を有する任意の構造を形成してもよい。この場合であっても、形成すべき構造に応じた走査軌跡に沿ってワークWの表面を加工光ELが走査するように制御装置5が加工ヘッド11等を制御すれば、任意の形状を有する任意の構造が形成可能である。任意の構造の一例としては、規則的又は不規則的に形成されたマイクロ・ナノメートルオーダの微細テクスチャ構造（典型的には凹凸構造）があげられる。このような微細テクスチャ構造は、流体（気体及び/又は液体）による抵抗を低減させる機能を有するサメ肌構造及びディンプル構造の少なくとも一方を含んでいてもよい。微細なテクスチャ構造は、撥液機能及びセルフクリーニング機能の少なくとも一方を有する（例えば、ロータス効果を有する）ハスの葉表

50

面構造を含んでいてもよい。微細なテクスチャ構造は、液体輸送機能を有する微細突起構造（米国特許公開第2017/0044002号公報参照）、親液性機能を有する凹凸構造、防汚機能を有する凹凸構造、反射率低減機能及び撥液機能の少なくとも一方を有するモスアイ構造、特定波長の光のみを干渉で強めて構造色を呈する凹凸構造、ファンデルワールス力を利用した接着機能を有するピラーアレイ構造、空力騒音低減機能を有する凹凸構造、及び、液滴捕集機能を有するハニカム構造等の少なくとも一つを含んでいてもよい。

【0244】

上述した説明では、加工システムSYSは、ワークWの表面の流体に対する抵抗を低減させるためのリブレット構造をワークWに形成している。しかしながら、加工システムSYSは、表面の流体に対する抵抗を低減させるためのリブレット構造とは異なるその他の構造をワークWに形成してもよい。例えば、加工システムSYSは、流体とワークWの表面とが相対的に移動するときに発生する騒音を低減するためのリブレット構造をワークWに形成してもよい。例えば、加工システムSYSは、ワークWの表面上の流体の流れに対して渦を発生する構造をワークWに形成してもよい。例えば、加工システムSYSは、ワークWの表面に疎水性を与えるための構造をワークWに形成してもよい。

【0245】

上述した説明では、加工光ELで物体を加工する加工システムSYSについて説明されている。つまり、上述した説明では、第2駆動系122が加工ヘッド11と第1駆動系121とを接続する例について説明されている。しかしながら、加工システムSYSにおける加工ヘッド11に加えて又は代えて、物体に対して作用するエンドエフェクタを用いてもよい。例えば、エンドエフェクタを備える加工装置1mの構造の一例を示す図33に示すように、第2駆動系122は、エンドエフェクタ13mと第1駆動系121とを接続してもよい。図33に示す例では、エンドエフェクタ13mが加工ヘッド11に取り付けられており、第2駆動系122は、加工ヘッド11を介してエンドエフェクタ13mと第1駆動系121とを接続している。但し、エンドエフェクタ13mが加工ヘッド11を介することなく第2駆動系122に取り付けられていてもよい。このようなエンドエフェクタを備える加工システムSYSは、ロボットシステムと称されてもよい。尚、図33は、第1実施形態の加工装置1がエンドエフェクタ13mを備える例を示しているが、第2実施形態の加工装置1から第12実施形態の加工装置1iの少なくとも一つがエンドエフェクタ13mを備えていてもよい。

【0246】

尚、エンドエフェクタは、作業対象（例えば、物体）に直接働きかける機能を持つ部分であってもよい。また、エンドエフェクタは、作業対象（例えば、物体）のプロパティを得る部分であってもよい。ここで、物体（例えば、作業対象）のプロパティは、物体の形状、物体の位置、物体の特徴点の位置、物体の姿勢、物体の表面性状（例えば、反射率、分光反射率、表面粗さ及び色等の少なくとも一つ）、及び、物体の硬さ等の少なくとも一つを含んでいてもよい。尚、上述の説明における加工ヘッド11、計測ヘッド21i及び位置計測装置6gは、エンドエフェクタの一種であるとみなすことができる。

【0247】

上述した説明では、加工光源と計測光源とを別の光源としたが、これらを1つの光源としてもよい。

【0248】

上述した説明では、照射位置変更光学系としてガルバノミラーを用いたが、ポリゴンミラーやMEMSミラーを用いてもよい。

【0249】

上述した説明では、加工光EL及び/又は計測光MLをワークWに照射する照射光学系として、射影特性がfであるfレンズを用いたが、他の射影特性を有する光学系を用いてもよい。また、照射光学系は、上述した説明のように、全屈折型の光学系（ディオプトリック光学系）には限定されず、反射屈折型の光学系（カタディオプトリック光学系）であっても全反射型の光学系（カタプトリック光学系）であってもよい。

【 0 2 5 0 】

上述した説明では、加工ヘッド 1 1 をヘッド駆動系 1 2 で移動可能にしていた。ここで、ヘッド駆動系 1 2 は、ロボットには限定されず、例えばワーク W から離れた位置を飛行可能な飛行体であってもよい。飛行体の一例として、航空機、ドローン、ヘリコプター、気球及び飛行船の少なくとも一つがあげられる。

【 0 2 5 1 】

(9) 付記

以上説明した実施形態に関して、更に以下の付記を開示する。

[付記 1]

加工光源からの加工光を物体に照射することで前記物体を加工する加工部材であって、
パルス光を含む計測光を射出する計測光学系と、
前記計測光学系からの前記計測光を前記物体に照射する照射光学系と
を備え、
前記加工光の光路と前記計測光の光路とは、少なくとも一部が重畳する
加工部材。

10

[付記 2]

前記照射光学系と前記物体との間における前記計測光の光路の少なくとも一部に前記加工光の前記光路が重なる
付記 1 に記載の加工部材。

[付記 3]

前記物体上での前記計測光の照射位置を変更する照射位置変更光学系を備える
付記 1 又は 2 に記載の加工部材。

20

[付記 4]

前記計測光の光路は、前記照射位置変更光学系によって前記計測光が通過し得る領域である
付記 3 に記載の加工部材。

[付記 5]

前記照射光学系は、照射位置変更光学系からの前記計測光を集光する
付記 3 又は 4 に記載の加工部材。

[付記 6]

前記照射位置変更光学系は、前記計測光の射出角度を変更する
付記 3 から 5 のいずれか一項に記載の加工部材。

30

[付記 7]

前記照射位置変更光学系によって前記計測光の射出角度が変更されたとき前記物体上での前記照射位置が変更される
付記 6 に記載の加工部材。

[付記 8]

前記照射光学系は、前記計測光及び前記加工光のそれぞれを前記物体に向けて射出する
付記 1 から 7 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 9]

前記物体上での前記加工光の照射位置と前記物体上での前記計測光の照射位置とを変更する照射位置変更光学系を備える
付記 8 に記載の加工部材。

40

[付記 1 0]

前記加工光の光路は、前記照射位置変更光学系によって前記加工光が通過し得る領域であり、
前記計測光の光路は、前記照射位置変更光学系によって前記計測光が通過し得る領域である

付記 9 に記載の加工部材。

[付記 1 1]

50

前記照射位置変更光学系は、前記物体上での前記加工光の前記照射位置と前記物体上での前記計測光の前記照射位置とを連動して変更する

付記 9 又は 10 に記載の加工部材。

[付記 12]

前記照射光学系は、照射位置変更光学系からの前記加工光及び前記計測光を集光する

付記 8 から 11 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 13]

前記照射位置変更光学系は、前記加工光の射出角度と前記計測光の射出角度とを変更する

付記 8 から 12 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 14]

前記照射位置変更光学系は、入射する前記加工光の光路及び入射する前記計測光の光路に対する角度が変更される傾斜角可変ミラーを含む

付記 8 から 13 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 15]

前記照射光学系内において、前記加工光の経路と前記計測光の経路とが少なくとも部分的に重複する

付記 1 から 14 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 16]

前記照射光学系内において、前記加工光の経路と前記計測光の経路とが、前記照射光学系の光軸に交差する方向に沿って少なくとも部分的に離れている

付記 1 から 15 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 17]

前記加工光源から入射した前記加工光を前記照射光学系に射出する加工光学系を更に備える

付記 1 から 16 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 18]

前記加工光学系からの前記加工光と、前記計測光学系からの前記計測光とを合成して前記照射光学系に射出する合成光学系を備える

付記 17 に記載の加工部材。

[付記 19]

前記合成光学系は、前記合成光学系に対して異なる方向からそれぞれ入射する前記計測光と前記加工光とを、同じ方向に射出する

付記 18 に記載の加工部材。

[付記 20]

前記加工光学系は、前記計測光学系と光学的に分離されている

付記 17 から 19 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 21]

前記計測光を供給する計測光源を備え、

前記計測光学系は、前記計測光源からの前記計測光を前記照射光学系に向けて射出する

付記 1 から 20 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 22]

前記計測光源は、前記計測光学系が収容されている筐体内に設けられる

付記 21 に記載の加工部材。

[付記 23]

前記計測光学系は、前記物体に照射された前記計測光によって発生する光を検出する検出器を備える

付記 1 から 22 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 24]

前記検出器は、前記物体に照射された前記計測光によって発生する前記光と前記計測光の一部から生成される参照光とが干渉した干渉光を検出する

10

20

30

40

50

付記 2 3 に記載の加工部材。

[付記 2 5]

前記参照光は、前記物体を経由しない

付記 2 4 に記載の加工部材。

[付記 2 6]

前記検出器は、前記物体に照射された前記計測光によって発生する前記光を、前記照射光学系を介して検出する

付記 2 3 から 2 5 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 2 7]

前記加工部材は、前記検出器の検出結果に基づいて制御される

10

付記 2 3 から 2 6 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 2 8]

前記加工光の前記物体上での照射位置と前記物体との相対位置が、前記検出器の検出結果に基づいて制御される

付記 2 3 から 2 7 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 2 9]

前記照射光学系と前記物体との相対位置が、前記検出器の検出結果に基づいて制御される

付記 2 3 から 2 8 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 3 0]

前記物体の表面上での前記加工光の照射位置を変更する照射位置変更光学系を更に備え、

20

前記照射位置変更光学系は、前記検出器の検出結果に基づいて制御される

付記 2 3 から 2 9 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 3 1]

前記加工光源を更に備える

付記 1 から 3 0 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 3 2]

前記加工光源からの前記加工光を前記物体に向けて射出する加工光照射光学系を更に備える

付記 1 から 3 1 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 3 3]

30

前記加工光源からの前記加工光は、前記照射光学系を経由しない

付記 3 2 に記載の加工部材。

[付記 3 4]

前記加工光の波長と前記計測光の波長とは異なる

付記 1 から 3 3 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 3 5]

前記加工光は、パルス光を含む

付記 1 から 3 4 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 3 6]

前記計測光は、光コム光源からの光を前記パルス光として含む

40

付記 1 から 3 5 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 3 7]

前記計測光は、周波数軸上で等間隔に並んだ周波数成分を含む光を前記パルス光として含む

付記 1 から 3 6 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 3 8]

前記照射光学系を構成する光学部材のうち少なくとも一部の光学部材は、交換可能である

付記 1 から 3 7 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 3 9]

交換可能な前記一部の光学部材は、前記加工部材に対する前記計測光の射出方向が異な

50

る複数の計測候補光学系のうちの一つの計測候補光学系である

付記 38 に記載の加工部材。

[付記 40]

交換可能な前記一部の光学部材は、前記照射光学系への前記計測光の入射位置と前記照射光学系からの前記計測光の射出位置との前記計測光の光路に沿った距離が異なる複数の計測候補光学系のうちの一つの計測候補光学系である

付記 38 又は 39 に記載の加工部材。

[付記 41]

前記加工光源から入射する前記加工光を前記物体に向けて射出する加工光照射光学系を備え、

前記加工光照射光学系を構成する光学部材のうち少なくとも一部の光学部材は、交換可能である

付記 1 から 40 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 42]

交換可能な前記一部の光学部材は、前記加工部材に対する前記加工光の射出方向が異なる複数の加工候補光学系のうちの一つの加工候補光学系である

付記 41 に記載の加工部材。

[付記 43]

交換可能な前記一部の光学部材は、前記加工光照射光学系への前記加工光の入射位置と前記加工光照射光学系からの前記加工光の射出位置との前記加工光の光路に沿った距離が異なる複数の加工候補光学系のうちの一つの加工候補光学系である

付記 41 又は 42 に記載の加工部材。

[付記 44]

前記照射光学系は、複数の前記計測光を前記物体に向けて射出する

付記 1 から 43 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 45]

前記照射光学系は、前記複数の計測光を前記物体の異なる位置に向けてそれぞれ射出する

付記 44 に記載の加工部材。

[付記 46]

前記複数の計測光のうちの第 1 の計測光は、第 1 の用途で用いられ、

前記複数の計測光のうちの前記第 1 の計測光とは異なる第 2 の計測光は、前記第 1 の用途とは異なる第 2 の用途で用いられる

付記 44 又は 45 に記載の加工部材。

[付記 47]

前記第 1 の用途は、前記物体の形状を特定するための用途を含み、

前記第 2 の用途は、前記物体と前記計測光学系及び前記加工光を前記物体に向けて射出する加工光学系の少なくとも一方との相対位置を特定するための用途を含む

付記 46 に記載の加工部材。

[付記 48]

前記物体と前記加工部材が収容されている筐体との相対位置を変更する位置変更装置を更に備える

付記 1 から 47 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 49]

前記位置変更装置は、

前記物体の一部との相対的な位置関係が変更可能な可動部材と、

前記可動部材と前記筐体の相対的な位置関係が変更可能になるように、前記可動部材と前記筐体とを接続する接続装置と

を備え、

前記接続装置は、前記可動部材と前記筐体とのうち少なくとも一方を移動させる駆動部材と、前記可動部材と前記筐体とを結合する弾性部材とを備える

10

20

30

40

50

付記 48 に記載の加工部材。

[付記 50]

前記位置変更装置は、前記物体に照射される前記計測光によって発生する光の検出結果に基づいて、前記筐体と前記物体との相対位置を変更する

付記 49 に記載の加工部材。

[付記 51]

前記照射光学系及び前記加工光を前記物体に向けて射出する加工光照射光学系の少なくとも一方と前記物体との相対位置を計測する位置計測装置を備える

付記 1 から 50 のいずれか一項に記載の加工部材。

[付記 52]

前記位置計測装置は、前記物体の表面を撮像する撮像装置を含む

付記 51 に記載の加工部材。

[付記 53]

パルス光を含む計測光を物体に向けて射出する第 1 光学系と、

前記物体に加工光を照射することで前記物体を加工する第 2 光学系と、

前記第 1 光学系の少なくとも一部が前記物体に対して変位可能な状態で前記第 1 光学系の少なくとも一部を支持し、前記第 2 光学系の少なくとも一部が前記物体に対して変位可能な状態で前記第 2 光学系の少なくとも一部を支持する支持部と、

前記支持部を介して前記第 1 光学系の少なくとも一部と前記第 2 光学系の少なくとも一部とを駆動する駆動部と

を備えるロボットシステム。

[付記 54]

互いに位相同期され干渉性のある参照光としての光周波数コムと、測定光としての光周波数コムとを射出する光源と、

前記光源から射出された測定光を、物体に照射する照射光学系と、

前記光源から射出された参照光が入射する参照面と、

前記物体に照射された前記測定光によって前記物体から生じる光と、前記参照面から戻された参照光との干渉光に基づく干渉信号を検出する検出部と、

前記光源から前記照射光学系へ向かう前記測定光と、前記物体に照射された前記測定光によって前記物体から生じる前記光のうち少なくとも一方の光を伝達する光ファイバと、
上記検出部により検出した干渉信号を用いて前記物体の位置に関する情報を求める信号処理部と

を備え、

前記光ファイバは、前記少なくとも一方の光の進行方向を横切る面に配列された複数のコアを有するイメージファイバを含む

測定装置。

[付記 55]

前記検出部は、少なくとも一方向に沿って配列された複数の光電変換素子を有する

付記 54 に記載の測定装置。

[付記 56]

前記光ファイバの前記検出器側の端面と、前記複数の光電変換素子が配列される面とを共役にする光学系をさらに備える

付記 55 に記載の測定装置。

[付記 57]

前記イメージファイバは、前記横切る面に配列された複数のファイバの束を有する

付記 54 から 56 のいずれか一項に記載の測定装置。

[付記 58]

前記イメージファイバは、前記横切る面に配列された複数のコアと前記複数のコアの間のクラッドとを有するマルチコア光ファイバを有する

付記 54 から 57 のいずれか一項に記載の測定装置。

10

20

30

40

50

【 0 2 5 2 】

上述の各実施形態の要件は、適宜組み合わせることができる。上述の各実施形態の要件のうちの一部が用いられなくてもよい。上述の各実施形態の要件は、適宜他の実施形態の要件と置き換えることができる。また、法令で許容される限りにおいて、上述の各実施形態で引用した装置等に関する全ての公開公報及び米国特許の開示を援用して本文の記載の一部とする。

【 0 2 5 3 】

また、本発明は、請求の範囲及び明細書全体から読み取るこのできる発明の要旨又は思想に反しない範囲で適宜変更可能であり、そのような変更を伴う加工装置、加工部材、ロボットシステム及び測定装置もまた本発明の技術思想に含まれる。

10

【 符号の説明 】

【 0 2 5 4 】

- 1 加工装置
- 1 1 加工ヘッド
- 1 1 1 加工光源
- 1 1 2 加工光学系
- 1 1 3 計測光源
- 1 1 4 計測光学系
- 1 1 5 合成光学系
- 1 1 6 共通光学系
- 1 2 ヘッド駆動系
- 5 制御装置
- E L 加工光
- M L 計測光
- S Y S 加工システム

20

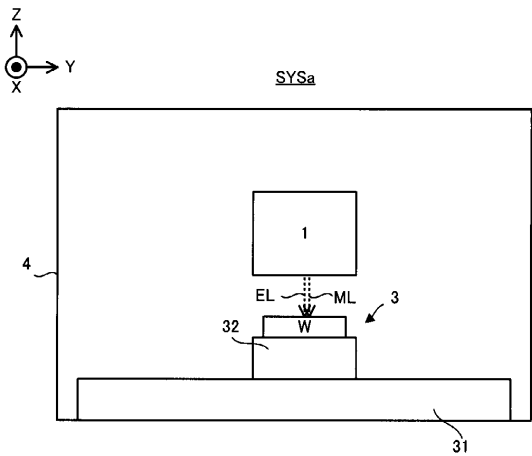
30

40

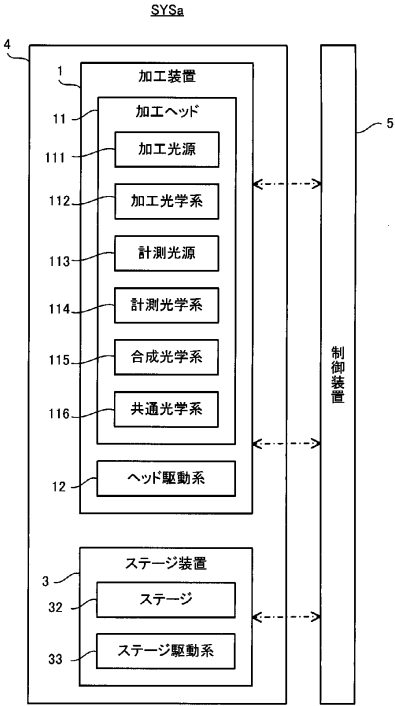
50

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

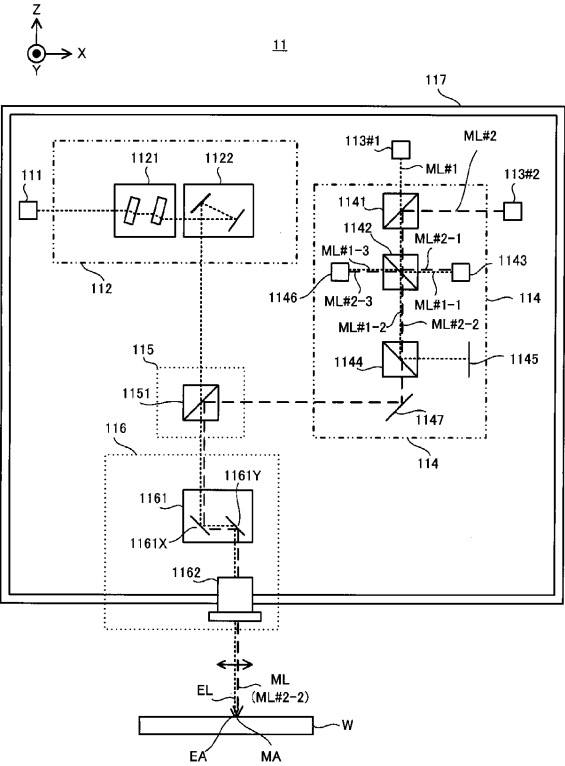
20

30

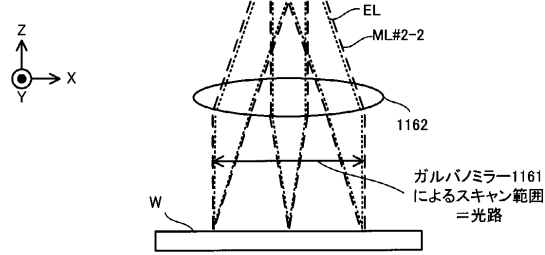
40

50

【図 3】



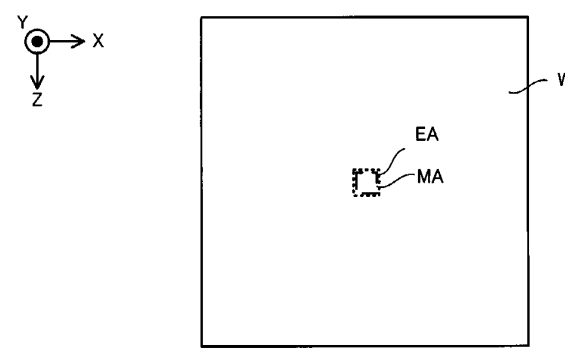
【図 4】



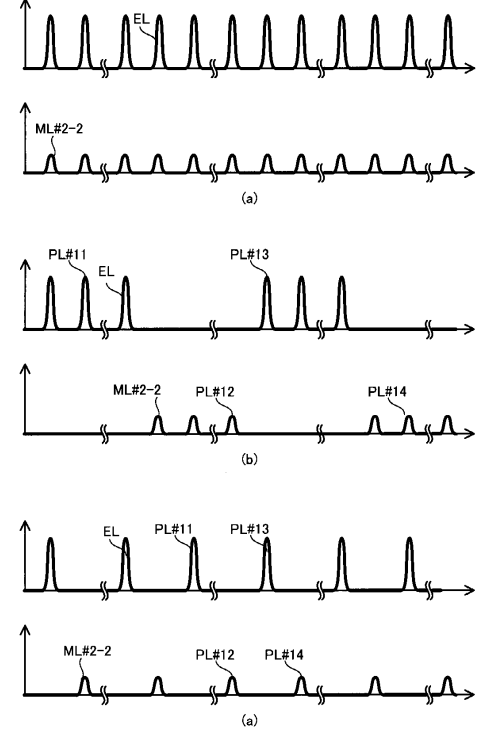
10

20

【図 5】



【図 6】

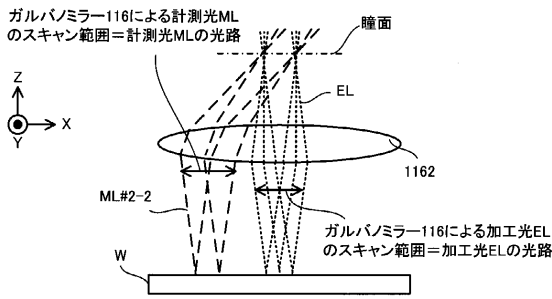


30

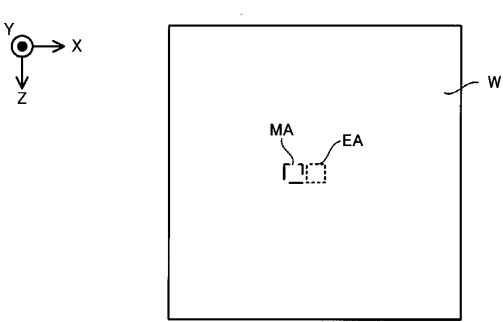
40

50

【図 7】

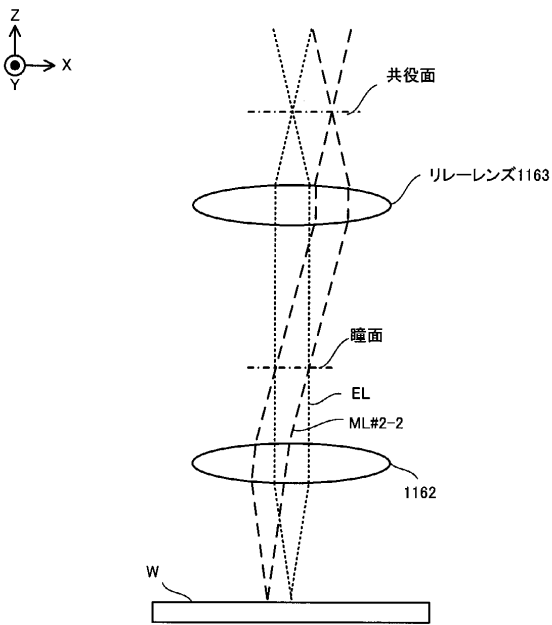


【図 8】

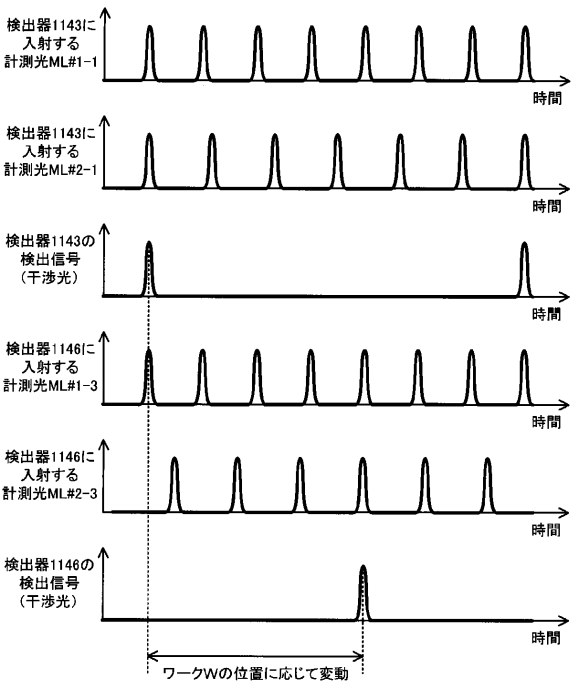


10

【図 9】



【図 10】



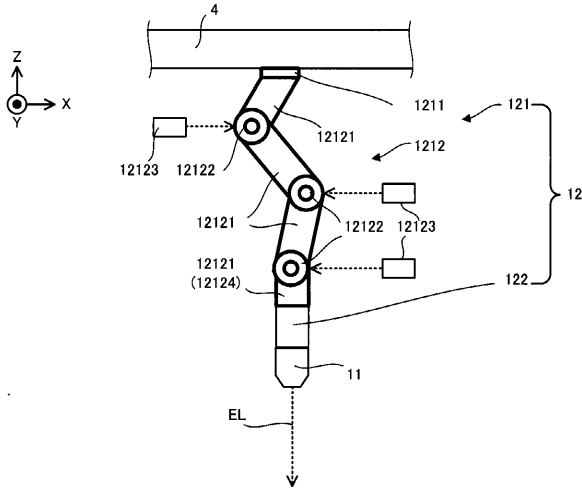
20

30

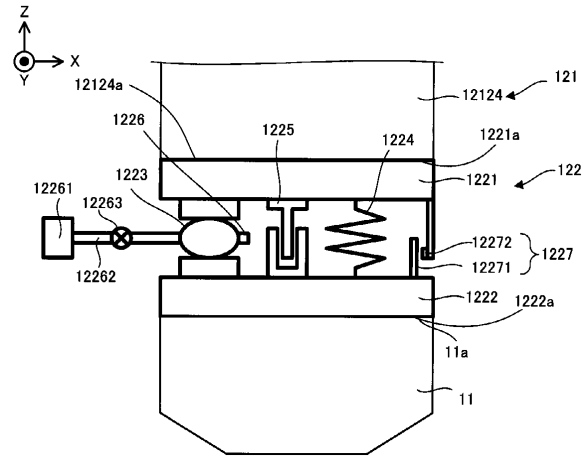
40

50

【図 1 1】

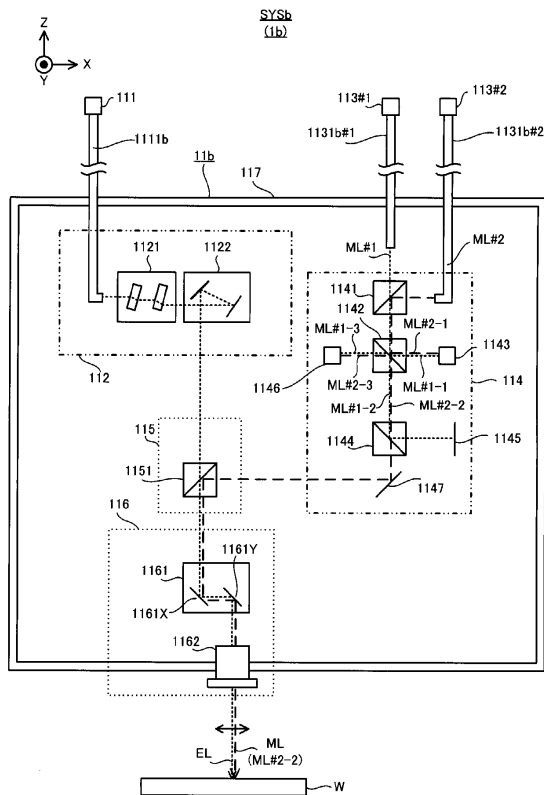


【図 1 2】

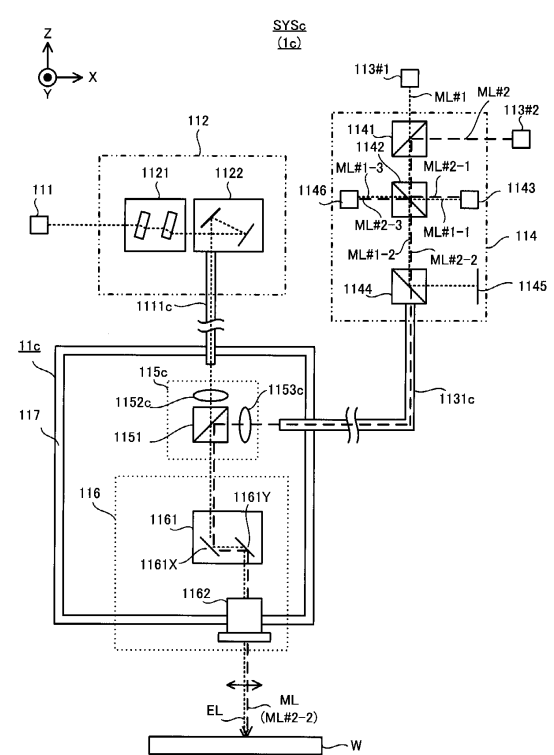


10

【図 1 3】



【図 1 4】



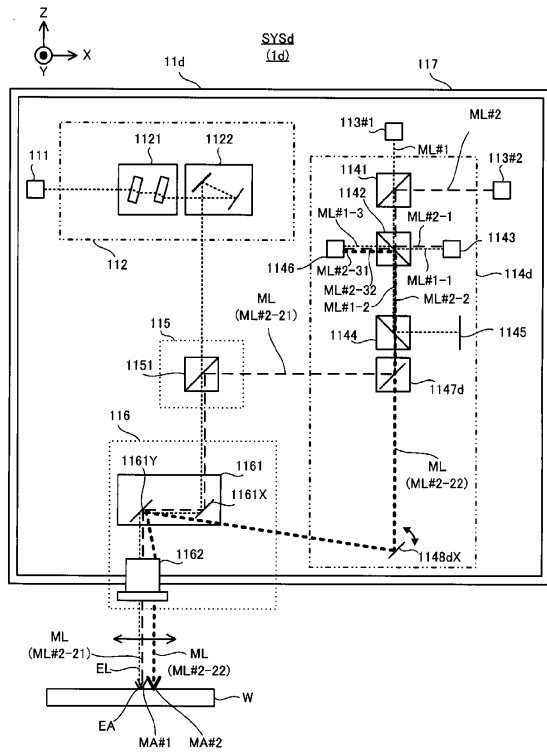
20

30

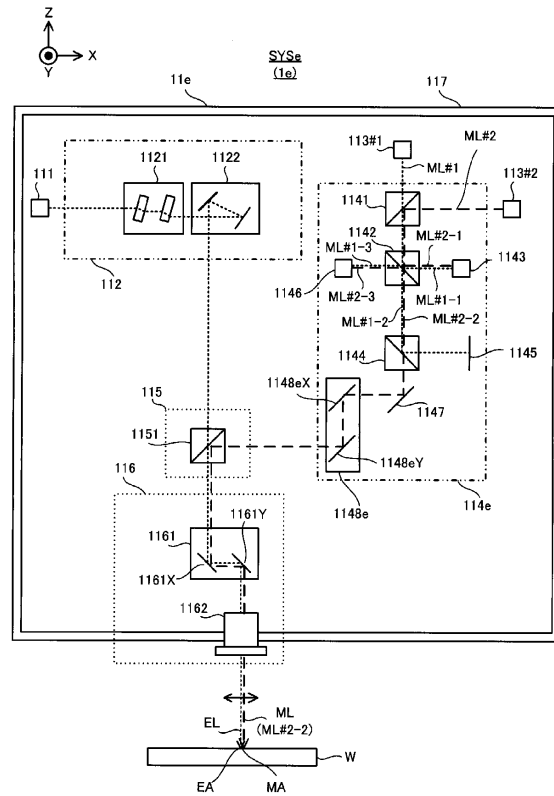
40

50

【図 19】



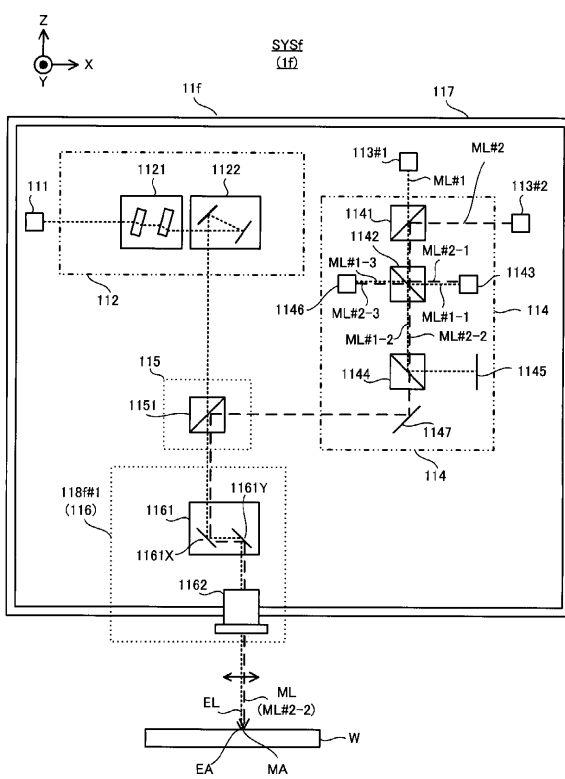
【図 20】



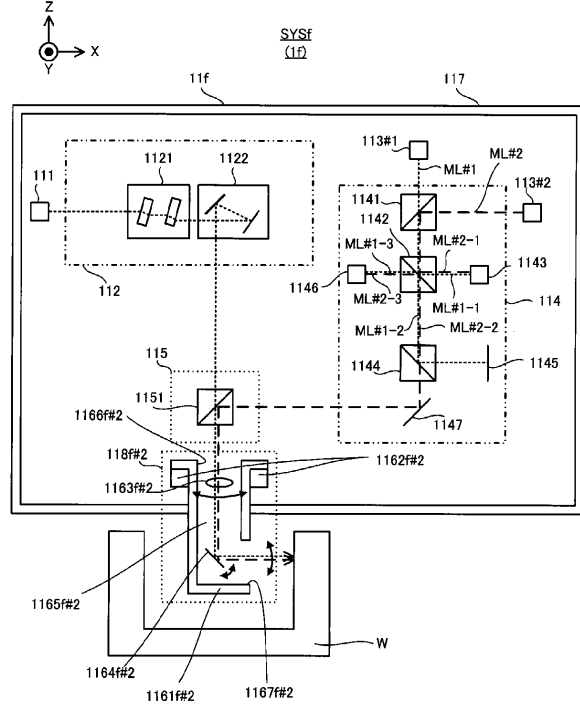
10

20

【図 21】



【図 22】

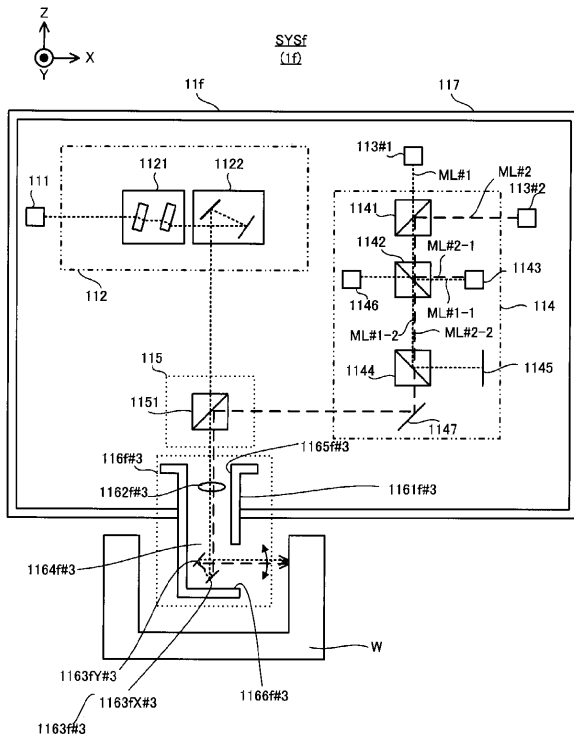


30

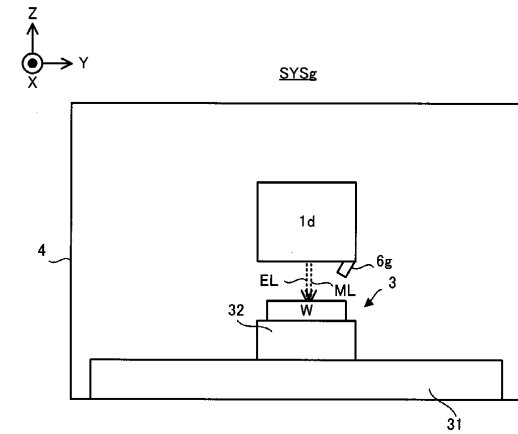
40

50

【図 2 3】



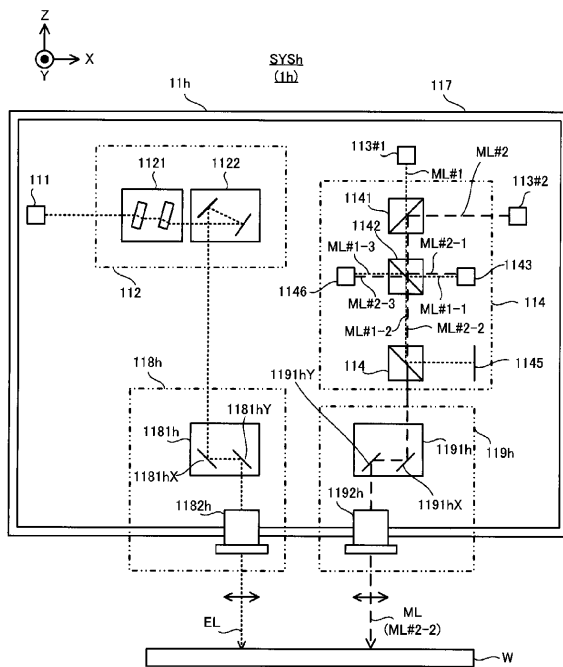
【図 2 4】



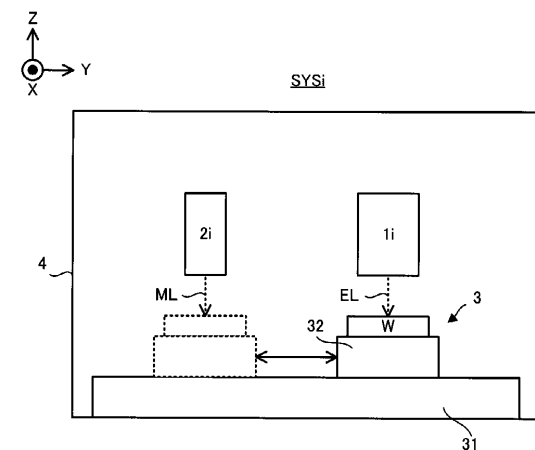
10

20

【図 2 5】



【図 2 6】

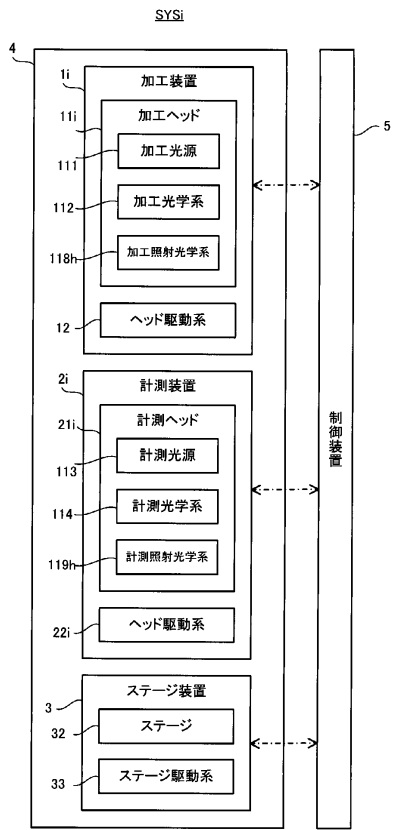


30

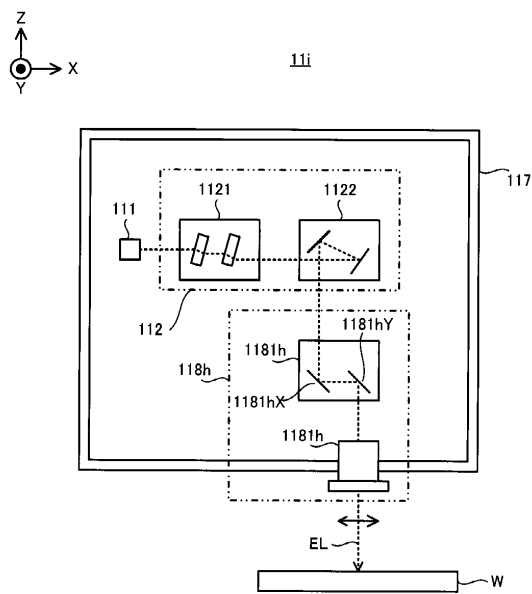
40

50

【図 2 7】



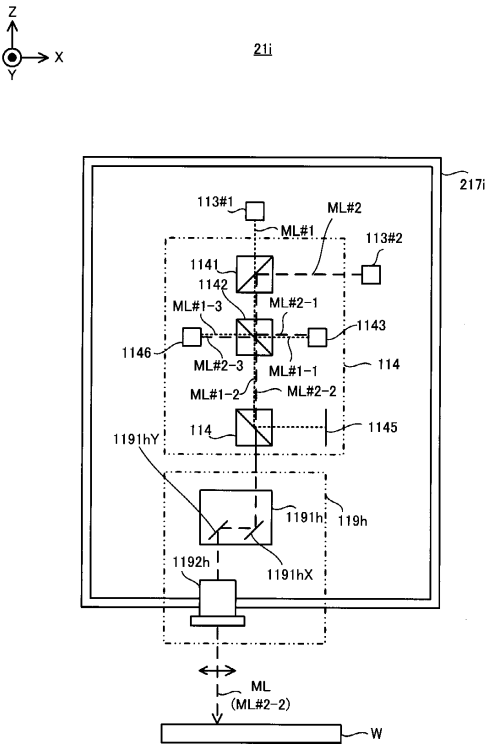
【図 2 8】



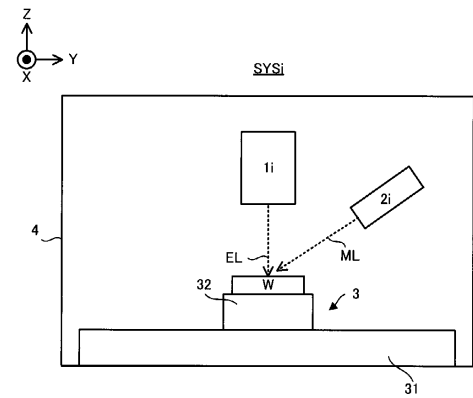
10

20

【図 2 9】



【図 3 0】

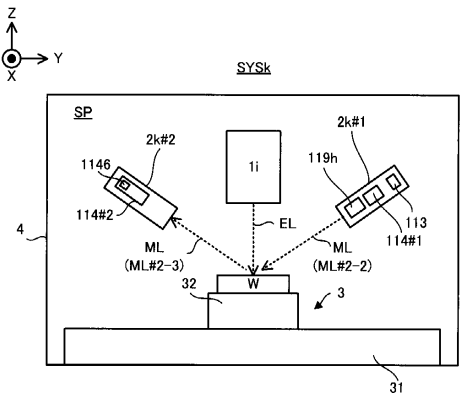


30

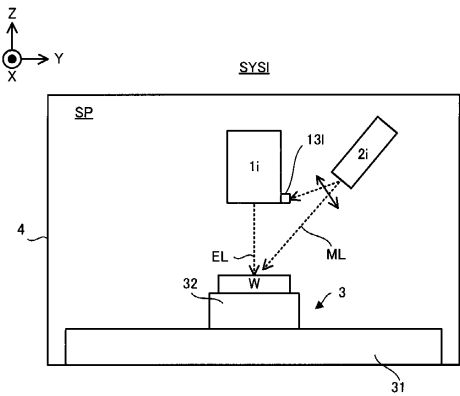
40

50

【図 3 1】



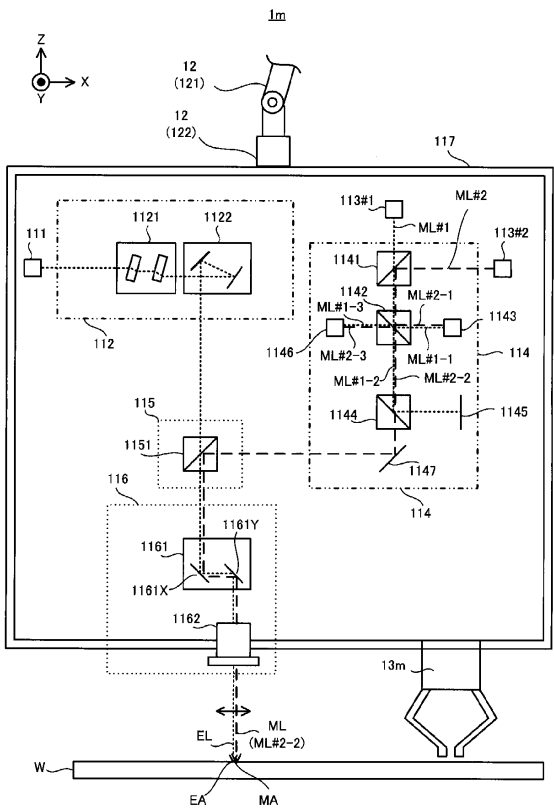
【図 3 2】



10

20

【図 3 3】



30

40

50

(56)参考文献

特開 2 0 1 9 - 1 1 1 5 8 0 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 0 8 2 6 6 3 (J P , A)
特開 2 0 1 6 - 0 4 8 1 8 8 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 2 9 0 0 5 6 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 2 4 4 3 1 9 (J P , A)
特開 2 0 0 5 - 4 0 8 0 9 (J P , A)
特開 2 0 0 5 - 1 6 1 3 8 7 (J P , A)
特開 2 0 1 3 - 1 0 8 9 7 7 (J P , A)
特表 2 0 1 3 - 5 4 5 6 1 3 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

B 2 3 K 2 6 / 0 0 - 2 6 / 7 0