(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年10月24日(24.10.2024)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2024/219005 A1

(51) 国際特許分類:
G01N 21/47 (2006.01) *B23K 26/354* (2014.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/043915

(22) 国際出願日： 2023年12月7日(07.12.2023)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

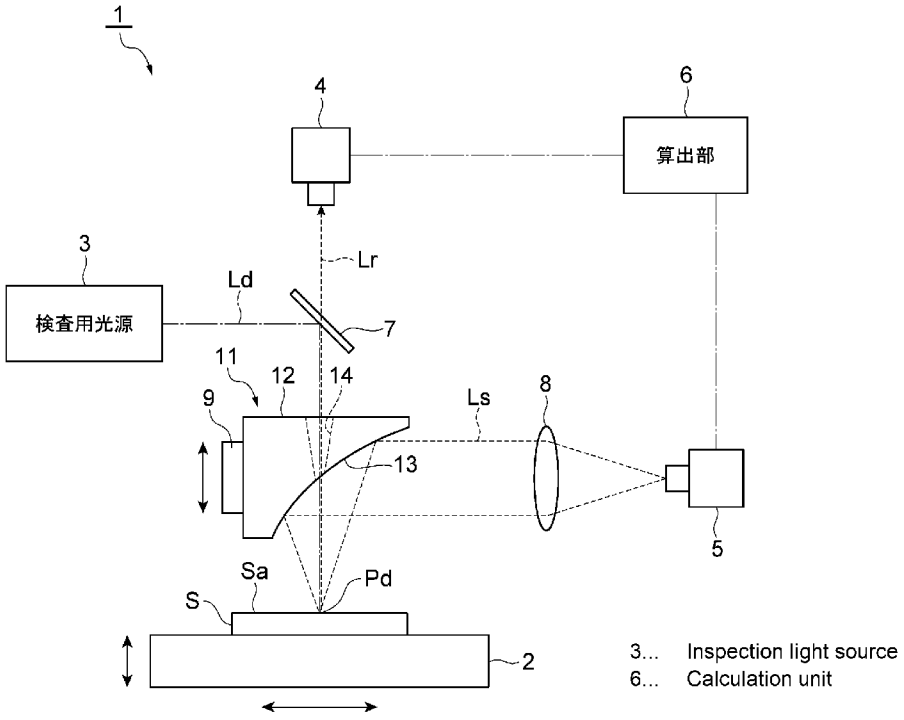
(30) 優先権データ：
特願 2023-069288 2023年4月20日(20.04.2023) JP

(71) 出願人: 浜松ホトニクス株式会社 **(HAMAMATSU PHOTONICS K.K.)** [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市中央区市野町１１２６番地の１ Shizuoka (JP).

(72) 発明者:渡利 威士**(WATARI Takeshi)**; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町１１２６番地の１ 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 木根 悠太**(KINE Yuta)**; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町１１２６番地の１ 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 栗田 隆史**(KURITA Takashi)**; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町１１２６番地の１ 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 酒井 浩一**(SAKAI Koichi)**; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町１１２６番地の１ 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 倉田 将輝**(KURATA Masateru)**; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町１１２６番地の１ 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).

(54) **Title:** MEASUREMENT DEVICE, MEASUREMENT METHOD, AND PROCESSING DEVICE

(54) 発明の名称： 計測装置、計測方法、及び加工装置



(57) **Abstract:** This measuring device 1 for measuring the surface roughness of an object S includes an off-axis parabolic mirror element 11 having a first surface 12, a second surface 13 composed of a concave parabolic mirror surface and positioned opposite the first surface 12, and a through-hole 14 connecting the first surface 12 and the second surface 13. The off-axis parabolic mirror element 11 is arranged so that inspection laser light Ld from an inspection light source 3 travels from the first surface 12 side through the through-hole 14 to an object S, specular light Lr passing through the

WO 2024/219005 A1

[続葉有]

(74) 代理人：長谷川 芳樹，外(HASEGAWA Yoshiki et al.)；〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目１番１号丸の内 ＭＹ ＰＬＡＺＡ（明治安田生命ビル） ９階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能)：AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能)：ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

through-hole 14 from the second surface 13 side travels to a first detection part 4, and diffuse light Ls reflected by the second surface 13 travels to a second detection part 5.

(57) 要約：計測装置１は、対象物Ｓの表面粗さを計測する装置であって、第１面１２と、凹状の放物ミラー面によって構成され、第１面１２の反対に位置する第２面１３と、第１面１２と第２面１３とを結ぶ貫通孔１４とを有する軸外放物面ミラー素子１１を備え、軸外放物面ミラー素子１１は、検査用光源３からの検査用レーザ光Ｌｄが第１面１２側から貫通孔１４を通って対象物Ｓに進行し、第２面１３側から貫通孔１４を通った正反射光Ｌｒが第１の検出部４に進行し、第２面１３で反射した散乱光Ｌｓが第２の検出部５に進行するように配置されている。

明　細　書

発明の名称 ： 計測装置、計測方法、及び加工装置

技術分野

[0001]　本開示は、計測装置、計測方法、及び加工装置に関する。

背景技術

[0002]　近年、対象物の表面にレーザ光を照射して対象物の表面を平滑化するレーザ研磨加工が知られている。レーザ研磨加工では、レーザ光による表面材料の溶融再配置或いはアブレーションによって、対象物の表面が平滑化される。レーザ研磨加工は、従来の研磨材による研磨加工に比べて、複雑な形状の対象物の任意の領域の加工が可能で、加工前後の対象物の形状変化も抑えられ、研磨クズも生じないという特長を有しており、更なる技術の発展が望まれている。

[0003]　レーザ研磨加工においては、加工品質の評価及び管理の観点から、従来の研磨剤による研磨加工と同様に、加工の際の対象物の表面粗さを計測することが不可欠となっている。従来では、対象物の表面粗さの計測には、顕微鏡などを用いたオフライン計測が主に用いられていたが、かかる手法では、計測のリアルタイム性に乏しく、かつ計測に要するデータ量が多いという技術的な課題があった。

[0004]　顕微鏡に代えて、光を用いて対象物の表面状態を計測する手法としては、例えば特許文献１に記載の表面欠陥検出装置がある。この従来の検出装置では、検査用のレーザ光を対象物の表面に斜めに入射させ、対象物の表面での散乱光と正反射光とを受光素子で計測する。そして、正反射光強度に対する散乱光強度の比に基づいて、対象物の表面の欠陥等を検出する。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開平１１－２３０９１２号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、上述した特許文献１のような検出装置をレーザ研磨加工における対象物の表面粗さの計測に適用する場合、原理的な課題として、散乱光強度の異方性及び平滑面における散乱光強度の低下が挙げられる。前者について、研磨面のように粗さに方向性がある表面では、散乱光の異方性が計測に影響し得る。後者について、鏡面に近いような平滑な表面を計測する場合では、散乱光強度が微弱となる結果、計測信号のＳＮ比が低下し得る。

[0007] また、上述した特許文献１のような検出装置を加工装置における表面粗さのリアルタイム計測に適用しようとする場合、加工用レーザ光の照射によって対象物の表面で発生したプラズマの発光が計測のノイズとなってしまうことが考えられる。さらに、上述した特許文献１のような検出装置では、散乱光が検査用のレーザ光の照射位置から全方位に向かって反射するため、散乱光が正反射光用の受光部によってノイズ成分として検出されてしまうことも考えられる。

[0008] 本開示は、上記課題の解決のためになされたものであり、レーザ研磨加工における対象物の表面粗さのリアルタイム計測に適した計測装置、計測方法、及びこれを用いた加工装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本開示の一側面に係る計測装置は、対象物の表面粗さを計測する計測装置であって、対象物の表面に対して検査用レーザ光を出力する検査用光源と、対象物の表面の計測点からの検査用レーザ光の正反射光を検出する第１の検出部と、対象物の表面の計測点からの検査用レーザ光の散乱光を検出する第２の検出部と、第１面と、凹状の放物ミラー面によって構成され、第１面の反対に位置する第２面と、第１面と第２面とを結ぶ貫通孔とを有する軸外放物面ミラー素子と、を備え、軸外放物面ミラー素子は、検査用光源からの検査用レーザ光が第１面側から貫通孔を通って対象物に進行し、第２面側から貫通孔を通った正反射光が第１の検出部に進行し、第２面で反射した散乱光が第２の検出部に進行するように配置されている。

[0010] この計測装置では、軸外放物面ミラー素子の配置により、第１の検出部での正反射光の検出と第２の検出部での散乱光の検出とを同時実施できる。対象物の表面で生じた散乱光は、凹状の放物ミラー面である軸外放物面ミラー素子の第２面によって一定の立体角をもって第２の検出部に進行する。したがって、対象物の表面が研磨面であって散乱光に異方性がある場合、或いは対象物の表面が平滑面であって散乱光が微弱な場合であっても、第２の検出部において散乱光を十分な強度で検出できる。また、この計測装置では、軸外放物面ミラー素子の貫通孔が正反射光のみを通過させるアパーチャとして機能し、正反射光以外の光が第１の検出部に進行することを抑制できると共に、第２面で反射した散乱光を加工用レーザ光に対して空間的或いは時間的にずらすことで、加工用レーザ光の照射によって対象物の表面で発生したプラズマの発光が散乱光と共に第２の検出部に進行することを抑制できる。したがって、この計測装置では、レーザ研磨加工における対象物の表面粗さのリアルタイム計測を好適に実施できる。

[0011] 計測装置は、第１の検出部で検出された正反射光の強度と、第２の検出部で検出された散乱光の強度との比に基づいて、対象物の表面粗さを算出する算出部を更に備えていてもよい。この場合、対象物の表面粗さの算出にあたって、検査用レーザ光の出力の揺らぎの影響を排除できる。したがって、表面粗さの計測精度の向上が図られる。

[0012] 軸外放物面ミラー素子は、検査用光源からの検査用レーザ光が第１面側から貫通孔を通って対象物の表面に垂直に進行するように配置されていてもよい。検査用レーザ光が対象物の表面に斜めに進行する場合、対象物の高さがずれた場合に正反射光の光路が大きくずれ、第１の検出部に進行しなくなることが考えられる。検査用レーザ光が対象物の表面に垂直に進行するように軸外放物面ミラー素子を配置することで、対象物の高さずれが生じた場合でも正反射光の光路が維持されるため、表面粗さの計測精度を担保できる。

[0013] 貫通孔は、第１面側から第２面側に向かうにつれて徐々に狭小となっていてもよい。これにより、貫通孔のアパーチャとしての機能が強化され、散乱

光或いは加工用レーザ光に起因するプラズマの発光が第１の検出部に進行することをより確実に抑制できる。したがって、表面粗さの計測精度の一層の向上が図られる。

[0014] 計測装置には、第２面と第２の検出部との間の散乱光の光路に集光レンズが更に配置されていてもよい。これにより、第２の検出部での散乱光の検出強度を一層高めることができる。したがって、表面粗さの計測精度の一層の向上が図られる。

[0015] 計測装置には、検査用光源と第１面との間の検査用レーザ光の光路、及び第１面と第１の検出部との間の正反射光の光路の一部を共通化するハーフミラーが更に配置されていてもよい。この場合、検査用レーザ光の光路及び正反射光の光路の一部を共通化することで、装置の小型化が図られる。

[0016] 計測装置は、第１面側から貫通孔を通って対象物に向かう検査用レーザ光の進行方向について、対象物と軸外放物面ミラー素子との間の位置関係を相対的に調整する調整機構を有していてもよい。かかる調整機構により、対象物と軸外放物面ミラー素子との位置合わせを容易に実施できる。

[0017] 調整機構は、軸外放物面ミラー素子を第１面側から貫通孔を通って対象物に向かう検査用レーザ光の進行方向に移動自在に保持する保持部によって構成されていてもよい。これにより、高さの異なる対象物を計測する場合でも、軸外放物面ミラー素子と対象物の表面との間の距離を、凹状の放物ミラー面である軸外放物面ミラー素子の第２面の焦点距離に容易に合わせることができる。

[0018] 調整機構は、対象物を第１面側から貫通孔を通って対象物に向かう検査用レーザ光の進行方向に移動自在に保持するステージによって構成されていてもよい。これにより、高さの異なる対象物を計測する場合でも、軸外放物面ミラー素子と対象物の表面との間の距離を、凹状の放物ミラー面である軸外放物面ミラー素子の第２面の焦点距離に容易に合わせることができる。

[0019] 第１の検出部及び第２の検出部は、シングルチャネルのフォトダイオードによって構成されていてもよい。この場合、粗さ計測に用いる情報は、正反

射光及び散乱光の強度信号のみとなる。したがって、２次元の画像処理に基づいて粗さ計測を行う場合に比べて扱うデータ量を削減でき、処理の高速化が図られる。

[0020] 本開示の一側面に係る計測方法は、対象物の表面粗さを計測する計測方法であって、対象物の表面に対して検査用レーザ光を出力する出力ステップと、対象物の表面の計測点からの検査用レーザ光の正反射光を第１の検出部で検出すると共に、対象物の表面の計測点からの検査用レーザ光の散乱光を第２の検出部で検出する検出ステップと、を備え、出力ステップ及び検出ステップでは、第１面と、凹状の放物ミラー面によって構成され、第１面の反対に位置する第２面と、第１面と第２面とを結ぶ貫通孔とを有する軸外放物面ミラー素子を用い、検査用レーザ光が第１面側から貫通孔を通って対象物に進行し、第２面側から貫通孔を通った正反射光が第１の検出部に進行し、第２面で反射した散乱光が第２の検出部に進行するように軸外放物面ミラー素子を配置する。

[0021] この計測方法では、軸外放物面ミラー素子の配置により、第１の検出部での正反射光の検出と第２の検出部での散乱光の検出とを同時実施できる。対象物の表面で生じた散乱光は、凹状の放物ミラー面である軸外放物面ミラー素子の第２面によって一定の立体角をもって第２の検出部に進行する。したがって、対象物の表面が研磨面であって散乱光に異方性がある場合、或いは対象物の表面が平滑面であって散乱光が微弱な場合であっても、第２の検出部において散乱光を十分な強度で検出できる。また、この計測方法では、軸外放物面ミラー素子の貫通孔が正反射光のみを通過させるアパーチャとして機能し、正反射光以外の光が第１の検出部に進行することを抑制できると共に、第２面で反射した散乱光を加工用レーザ光に対して空間的或いは時間的にずらすことで、加工用レーザ光の照射によって対象物の表面で発生したプラズマの発光が散乱光と共に第２の検出部に進行することを抑制できる。したがって、この計測装置では、レーザ研磨加工における対象物の表面粗さのリアルタイム計測を好適に実施できる。

[0022] 本開示の一側面に係る加工装置は、対象物の表面を加工する加工装置であって、対象物の表面に対して加工用レーザ光を出力する加工用光源と、上記計測装置と、を備える。この加工装置では、上述した計測装置を用いることで、レーザ研磨加工における対象物の表面粗さのリアルタイム計測を好適に実施できる。

[0023] 加工装置は、第１の検出部で検出された正反射光の強度と、第２の検出部で検出された散乱光の強度との比に基づいて、対象物の表面粗さを算出する算出部を更に備えていてもよい。この場合、対象物の表面粗さの算出にあたって、検査用レーザ光の出力の揺らぎの影響を排除できる。したがって、表面粗さの計測精度の向上が図られる。

[0024] 加工装置は、対象物を第１面側から貫通孔を通って対象物に向かう検査用レーザ光の進行方向と対象物の表面の面内方向とに移動自在に保持するステージを更に備えていてもよい。この場合、ステージによって加工用レーザ光及び検査用レーザ光を対象物の表面に対して走査できる。したがって、対象物の表面粗さの計測を加工領域に沿って連続的に実施でき、加工の作業性を向上できる。

[0025] 対象物の表面において、検査用レーザ光の照射位置が加工用レーザ光の照射位置からずれていてもよい。この場合、軸外放物面ミラー素子の第２面で反射して第２の検出部に進行する散乱光の光路と、同じく軸外放物面ミラー素子の第２面で反射して第２の検出部に進行するプラズマの発光の光路とを空間的に分離することができる。散乱光の光路とプラズマの発光の光路とが空間的に分離していることで、プラズマの発光が第２の検出部に入射することが抑制され、プラズマの発光が対象物の表面粗さの計測に影響することを抑制できる。

[0026] 第２面と第２の検出部との間の散乱光の光路には、散乱光のみを通過させるアパーチャが配置されていてもよい。この場合、散乱光以外の光をアパーチャによって遮光できるため、加工用レーザ光に起因するプラズマの発光が第２の検出部に進行することを抑止できる。したがって、対象物の表面粗さ

のリアルタイム計測をより好適に実施できる。

[0027] 加工装置は、加工用レーザ光と検査用レーザ光とが互いに異なる出力期間で対象物の表面に照射されるように加工用光源及び検査用光源を制御する制御部を更に備えていてもよい。この場合、第２面で反射して第２の検出部に向かう散乱光と、同じく第２面で反射して第２の検出部に進行するプラズマの発光とが時間的にずれるため、プラズマの発光が第２の検出部での散乱光の検出に影響することを抑止できる。したがって、対象物の表面粗さのリアルタイム計測をより好適に実施できる。

[0028] 算出部は、加工用レーザ光が対象物の表面に照射されていない期間に第１の検出部で検出された正反射光の強度と、同期間に第２の検出部で検出された散乱光の強度との比に基づいて、対象物の表面粗さを算出してもよい。この場合、対象物の表面粗さの算出にあたって、加工用レーザ光に起因するプラズマの発光の影響を排除できる。したがって、表面粗さの計測精度の向上が図られる。

発明の効果

[0029] 本開示によれば、レーザ研磨加工における対象物の表面粗さのリアルタイム計測を好適に実施できる。

図面の簡単な説明

[0030] [図1]本開示の一実施形態に係る計測装置の構成を示す模式的な図である。

[図2]算出部に記憶される検量線データの一例を示す図である。

[図3]軸外放物面ミラー素子の構成を拡大して示す図である。

[図4]本開示の一実施形態に係る計測方法の一例を示すフローチャートである。

[図5]図１に示した計測装置を含む加工装置の構成の一例を示す模式的な図である。

[図6]図１に示した計測装置を含む加工装置の構成の別例を示す模式的な図である。

[図7]図６に示した加工装置における加工用レーザ光及び検査用レーザ光の出

力タイミングを示す図である。

[図8]図１に示した計測装置を含む加工装置の構成の更なる別例を示す模式的な図である。

発明を実施するための形態

[0031] 以下、図面を参照しながら、本開示の一側面に係る計測装置、計測方法、及び加工装置の好適な実施形態について詳細に説明する。

[0032] 図１は、本開示の一実施形態に係る計測装置の構成を示す模式的な図である。図１に示す計測装置１は、対象物Ｓの表面Ｓａの粗さ計測を行う装置として構成されている。対象物Ｓは、特に制限は無いが、例えば銅、アルミニウム、鉄などの各種金属材料、或いは半導体ウェハなどである。

[0033] 図１に示すように、計測装置１は、対象物Ｓが載置されるステージ２と、検査用レーザ光Ｌｄを出力する検査用光源３と、検査用レーザ光Ｌｄの正反射光Ｌｒを検出する第１の検出部４と、検査用レーザ光Ｌｄの散乱光Ｌｓを検出する第２の検出部５と、正反射光Ｌｒ及び散乱光Ｌｓの検出結果に基づいて対象物Ｓの表面粗さを算出する算出部６とを含んで構成されている。検査用レーザ光Ｌｄ、正反射光Ｌｒ、及び散乱光Ｌｓの光路には、軸外放物面ミラー素子１１が配置されている。

[0034] ステージ２は、対象物Ｓが載置される載置領域を有している。ステージ２には、計測対象となる表面Ｓａが検査用レーザ光Ｌｄの進行方向に対向するように対象物Ｓが載置される。ステージ２は、後述する軸外放物面ミラー素子１１の第１面１２側から貫通孔１４を通って対象物Ｓに向かう検査用レーザ光Ｌｄの進行方向について、対象物Ｓと軸外放物面ミラー素子１１との間の位置関係を相対的に調整する調整機構として機能する。本実施形態では、ステージ２は、例えば３軸の可動ステージによって構成されている。ステージ２は、軸外放物面ミラー素子１１と対象物Ｓとの高さ方向の位置合わせのため、検査用レーザ光Ｌｄの進行方向に移動自在となっている。また、ステージ２は、対象物Ｓの表面Ｓａに対して検査用レーザ光Ｌｄの計測点を走査する目的で、対象物Ｓの表面Ｓａの面内方向に移動自在となっている。

[0035] 検査用光源３は、対象物Ｓに対して検査用レーザ光Ｌｄを出力する。検査用光源３としては、例えばＨｅＮｅレーザなどを用いることができる。検査用レーザ光Ｌｄは、例えばＣＷ光である。一例として、検査用レーザ光Ｌｄの波長は６３２．８ｎｍ、出力パワーは１ｍＷ、ビーム径は５００μｍとなっている。検査用光源３から出力した検査用レーザ光Ｌｄは、ハーフミラー７で反射し、ステージ２に載置された対象物Ｓの表面Ｓａに対して垂直に進行する。なお、検査用レーザ光Ｌｄとして、ＣＷ光ではなく、パルス光を用いることも可能である。パルス光を用いる場合、加工点（例えば後述の加工用レーザ光Ｌｗの照射位置Ｐｗ）からのプラズマ発光と重複しないように、検査用レーザ光Ｌｄの繰り返し周波数を加工用レーザ光Ｌｗの繰り返し周波数よりも低く設定することが好ましい。

[0036] 第１の検出部４は、対象物Ｓの表面Ｓａの計測点からの検査用レーザ光Ｌｄの正反射光Ｌｒを検出する。第１の検出部４は、正反射光Ｌｒの検出結果を示す情報を生成し、当該情報を算出部６に出力する。本実施形態では、第１の検出部４は、例えばシングルチャネルの光検出器によって構成されており、正反射光Ｌｒの検出結果に比例した大きさの強度信号（電流値信号）を算出部６に出力する。光検出器としては、例えばフォトダイオード、アバランシェフォトダイオード、光電子増倍管などを用いることができる。

[0037] 正反射光Ｌｒは、入射角と反射角が反射面に対して等しく反射した光である。本実施形態では、対象物Ｓの表面Ｓａに対して検査用レーザ光Ｌｄが垂直に入射する。したがって、正反射光Ｌｒは、対象物Ｓの表面Ｓａにおける検査用レーザ光Ｌｄの照射位置（計測点）Ｐｄから垂直に反射する光である。正反射光Ｌｒの強度は、計測点の表面粗さが小さい程大きくなる傾向がある。

[0038] 本実施形態では、第１の検出部４の受光面は、例えば３ｍｍ×３ｍｍの矩形状をなしている。当該受光面のサイズは、後述の軸外放物面ミラー素子１１の貫通孔１４の第１面１２側の開口幅或いは第２面１３側の開口幅以上となっていてもよい。この場合、計測装置１の使用中の振動やアライメントの

誤差などに起因して正反射光Ｌｒの光軸がずれたとしても、第１の検出部４の受光面への正反射光Ｌｒの入射を担保できる。

[0039] 第２の検出部５は、対象物Ｓの表面Ｓａの計測点からの検査用レーザ光Ｌｄの散乱光Ｌｓを検出する。第２の検出部５は、散乱光Ｌｓの検出結果を示す情報を生成し、当該情報を算出部６に出力する。本実施形態では、第２の検出部５は、例えばシングルチャネルの光検出器によって構成されており、散乱光Ｌｓの検出結果に比例した大きさの電流値信号を算出部６に出力する。光検出器としては、第１の検出部４と同様に、例えばフォトダイオード、アバランシェフォトダイオード、光電子増倍管などを用いることができる。

[0040] 散乱光Ｌｓは、反射面の表面粗さに起因して反射面から広範囲に反射する光である。散乱光Ｌｓは、対象物Ｓの表面Ｓａにおける検査用レーザ光Ｌｄの照射位置（計測点）Ｐｄを起点に全方位に拡散する。散乱光Ｌｓは、対象物Ｓの表面Ｓａが例えば研磨面であり、表面粗さに方向性がある場合には、研磨の方向に応じた異方性をもって計測点から反射し得る。散乱光Ｌｓは、計測点の表面粗さが小さい程小さくなる傾向があり、対象物Ｓの表面Ｓａが鏡面に近いような平滑な表面である場合には、強度的に微弱な光となり得る。

[0041] 本実施形態では、第２の検出部５の受光面は、例えば３ｍｍ×３ｍｍの矩形状をなしている。当該受光面のサイズは、後述のアパーチャ２４（図５参照）に形成されたピンホールの開口幅（ピンホールが円形の場合は開口径）以上となっていてもよい。この場合、計測装置１の使用中の振動やアライメントの誤差などに起因して散乱光Ｌｓの光軸がずれたとしても、第２の検出部５の受光面への散乱光Ｌｓの入射を担保できる。

[0042] 算出部６は、対象物Ｓの表面粗さを算出する。算出部６は、物理的には、例えばＣＰＵ等のプロセッサ、ＲＡＭ、ＲＯＭ等の記憶媒体を備えるコンピュータによって構成されている。コンピュータは、表示部や入力部を一体に備えたスマートフォン或いはタブレット端末であってもよい。コンピュータは、マイクロコンピュータやＦＰＧＡ（Field-Programmable Gate Array）な

どで構成されていてもよい。

[0043] 算出部６は、第１の検出部４からの検出結果情報及び第２の検出部５からの検出結果情報をそれぞれ受け取り、これらの検出結果情報から得られる正反射光Ｌｒの強度と散乱光Ｌｓの強度との比に基づいて、対象物Ｓの表面粗さを算出する。算出部６は、正反射光Ｌｒの強度と散乱光Ｌｓの強度との比に基づく表面粗さの算出にあたって、例えば対象物Ｓ毎の検量線データを予め保有している。

[0044] 図２は、算出部に記憶される検量線データの一例を示す図である。同図の例では、横軸に正反射光の強度に対する散乱光の強度の比を示し、縦軸に表面粗さを示している。この検量線データでは、予め表面粗さが既知である複数の対象物のサンプルについて正反射光の強度に対する散乱光の強度の比の算出結果がプロットされ、算出結果に基づくフィッティング関数が生成されている。

[0045] 算出部６は、検量線データを参照し、正反射光Ｌｒの強度と散乱光Ｌｓの強度との比をフィッティング関数に代入することで、対象物Ｓの表面Ｓａの計測点での表面粗さの計測結果を算出する。算出部６は、表面粗さの計測結果をディスプレイ等の表示部に表示してもよく、対象物Ｓにおける計測点毎の計測結果の履歴を記憶部に記憶してもよい。

[0046] 次に、軸外放物面ミラー素子１１について説明する。図３は、軸外放物面ミラー素子の構成を拡大して示す図である。軸外放物面ミラー素子（非軸放物面ミラー素子）１１は、計測点Ｐｄからの光を放物ミラー面によって平行光として反射する素子である。ここでは、軸外し（非軸）角度が９０°となっているが、当該角度は、３０°、４５°、６０°などの任意の角度に設定できる。

[0047] 図３に示すように、軸外放物面ミラー素子１１は、第１面１２と、第１面１２の反対に位置する第２面１３と、第１面１２と第２面１３とを結ぶ貫通孔１４とを有している。第１面１２は、平坦な非鏡面であるのに対し、第２面１３は、凹状の放物ミラー面となっている。図３では、軸外放物面ミラー

素子１１を側面から示しているが、実際の第２面１３は、３次元的な凹状の放物ミラー面である。貫通孔１４の延在方向に沿う第２面１３の幅は、例えば５０ｍｍとなっている。

[0048] 貫通孔１４は、第１面１２側の空間と、第２面１３側の空間とを連通している。貫通孔１４は、例えば断面円形状をなしている。貫通孔１４は、正反射光Ｌｒのアパーチャとして機能させる観点から、第１面１２側から第２面１３側に向かうにつれて徐々に狭小となっている。このような構成により、第１面１２側では検査用レーザ光Ｌｄを確実に貫通孔１４に入射させつつ、第２面１３側では散乱光Ｌｓや加工に伴うプラズマ光を好適にカットできる。

[0049] 貫通孔１４を正反射光Ｌｒのアパーチャとして機能させる観点からは、貫通孔１４における第１面１２側の開口幅及び第２面１３側の開口幅は、１０ｍｍ以下となっていることが好ましい。ここでは、貫通孔１４における第１面１２側の開口は、例えば直径８ｍｍの円形となっている。貫通孔１４における第２面１３側の開口は、例えば直径３ｍｍの円形となっている。なお、貫通孔１４の断面形状（開口形状）は、円形に限られず、楕円形、矩形、三角形、その他の多角形状であってもよい。

[0050] 軸外放物面ミラー素子１１は、図１に示すように、検査用光源３からの検査用レーザ光Ｌｄが第１面１２側から貫通孔１４を通って対象物Ｓに進行し、第２面１３側から貫通孔１４を通った正反射光Ｌｒが第１の検出部４に進行し、第２面１３で反射した散乱光Ｌｓが第２の検出部５に進行するように配置されている。散乱光Ｌｓは、凹状の放物ミラー面である第２面１３で反射する際にコリメートされ、平行光の状態で第２の検出部５に進行する。

[0051] また、軸外放物面ミラー素子１１は、凹状の放物ミラー面である第２面１３の焦点が、検査用レーザ光Ｌｄの計測点Ｐｄと一致するように配置されている。計測点Ｐｄから軸外放物面ミラー素子１１の貫通孔１４における第２面１３側の開口の中心までの距離は、例えば５０ｍｍである。加工用レーザ光Ｌｗの照射時に発生するデブリや、プラズマによる軸外放物面ミラー素子

１１の損傷を防止するという観点から、計測点Ｐｄから軸外放物面ミラー素子１１の貫通孔１４における第２面１３側の開口の中心までの距離は、１０ｍｍ以上であることが好ましい。計測装置１の小型化の観点、検査用レーザ光Ｌｄ、正反射光Ｌｒ、及び散乱光Ｌｓのそれぞれの光路長を短くして信号量の減衰を防止するという観点から、当該距離は１００ｍｍ以下であることが好ましい。

[0052] 本実施形態では、軸外放物面ミラー素子１１は、第２面１３に形成された放物ミラー面が計測点Ｐｄを中心とし且つ対象物Ｓの表面Ｓａによって規定された半球に対して１０％程度の立体角をカバーするように配置されている。第２の検出部５において十分な強度の散乱光信号を取得するという観点からは、放物ミラー面が当該半球に対して５％以上の立体角をカバーすることが好ましい。

[0053] 放物ミラー面がカバーする立体角は、第２面１３に形成する放物ミラー面の形状、及び計測点Ｐｄから軸外放物面ミラー素子１１の貫通孔１４における第２面１３側の開口の中心までの距離を調整することで制御可能である。具体的には、放物ミラー面の面積を大きくする、計測点Ｐｄから軸外放物面ミラー素子１１の貫通孔１４における第２面１３側の開口の中心までの距離を近づける、或いはこれらの双方を併用することで、放物ミラー面がカバーする立体角を大きくすることが可能である。

[0054] このような軸外放物面ミラー素子１１の配置により、本実施形態では、図１に示すように、ハーフミラー７で反射した検査用レーザ光Ｌｄは、第１面１２側から貫通孔１４を通って対象物Ｓの表面Ｓａに垂直に進行する。検査用レーザ光Ｌｄの計測点における正反射光Ｌｒは、検査用レーザ光Ｌｄと同軸かつ逆向きで第２面１３側から貫通孔１４を通り、ハーフミラー７を透過した後、第１の検出部４に入射する。ハーフミラー７と対象物Ｓの表面Ｓａとの間では、対象物Ｓに進行する検査用レーザ光Ｌｄの光路と、対象物Ｓから第１の検出部４に向かう正反射光Ｌｒの光路とが共通化されている。

[0055] 図示しないが、第１面１２と第１の検出部４との間の正反射光Ｌｒの光路

に集光レンズが配置されていてもよい。この場合、第２面１３側から貫通孔１４を通った正反射光Ｌｒは、集光レンズによって集光された状態で第１の検出部４に入射する。当該集光レンズは、例えば第１面１２と第１の検出部４との間の正反射光Ｌｒの光路に複数配置されていてもよい。具体的には、第１の検出部４の受光面における正反射光Ｌｒの集光を目的とした第１の集光レンズを第１の検出部４とハーフミラー７との間に配置し、対象物Ｓの表面Ｓａにおける検査用レーザ光Ｌｄの集光を目的とした第２の集光レンズをハーフミラー７と第１面１２との間に配置してもよい。このような構成によれば、正反射光Ｌｒ及び検査用レーザ光Ｌｄのそれぞれに対応した第１の集光レンズ及び第２の集光レンズによって、正反射光Ｌｒ及び検査用レーザ光Ｌｄの集光をより好適に実施できる。なお、第１の集光レンズ及び第２の集光レンズの一方のみを配置する構成としてもよい。

[0056] 検査用レーザ光Ｌｄの計測点における散乱光Ｌｓは、凹状の放物ミラー面である第２面１３によって形成される立体角をもって第２面１３で反射し、第２の検出部５に入射する。図１の例では、第２面１３と第２の検出部５との間の散乱光Ｌｓの光路に集光レンズ８が配置されている。散乱光Ｌｓは、凹状の放物ミラー面である第２面１３によってコリメートされ、平行光として集光レンズ８に入射し、当該集光レンズ８によって集光された状態で第２の検出部５に入射する。

[0057] また、図１の例では、軸外放物面ミラー素子１１は、保持部９によって保持されている。保持部９は、ステージ２と同様に、軸外放物面ミラー素子１１の第１面１２側から貫通孔１４を通って対象物Ｓに向かう検査用レーザ光Ｌｄの進行方向について、対象物Ｓと軸外放物面ミラー素子１１との間の位置関係を相対的に調整する調整機構として機能する。保持部９は、軸外放物面ミラー素子１１と対象物Ｓとの高さ方向の位置合わせのため、第１面１２側から貫通孔１４を通って対象物Ｓに向かう検査用レーザ光Ｌｄの進行方向に軸外放物面ミラー素子１１を移動自在に保持する。保持部９は、軸外放物面ミラー素子１１、集光レンズ８、及び第２の検出部５の位置関係を維持し

た状態で、これらを一体的に第１面１２側から貫通孔１４を通って対象物Ｓに向かう検査用レーザ光Ｌｄの進行方向に移動自在に保持するように構成されていてもよい。

[0058] 続いて、本開示の一実施形態に係る計測方法について説明する。図４は、本開示の一実施形態に係る計測方法の一例を示すフローチャートである。図４に示すように、この計測方法は、出力ステップ（ステップＳ０１）と、検出ステップ（ステップＳ０２）と、算出ステップ（ステップＳ０３）とを備えて構成されている。

[0059] 出力ステップは、対象物Ｓの表面Ｓａに対して検査用レーザ光Ｌｄを出力するステップである。検出ステップは、対象物Ｓの表面Ｓａの計測点からの検査用レーザ光Ｌｄの正反射光Ｌｒを第１の検出部４で検出すると共に、計測点からの検査用レーザ光Ｌｄの散乱光Ｌｓを第２の検出部５で検出するステップである。算出ステップは、検出ステップで検出された正反射光Ｌｒの強度と、第２の検出部５で検出された散乱光Ｌｓの強度との比に基づいて、対象物Ｓの表面粗さを算出するステップである。

[0060] 出力ステップ及び検出ステップでは、上述した軸外放物面ミラー素子１１を用いる。出力ステップでは、検査用レーザ光Ｌｄを第１面１２側から貫通孔１４を通して対象物Ｓに進行させる。検出ステップでは、第２面１３側から貫通孔１４を通した正反射光Ｌｒを第１の検出部４に進行させると共に、第２面１３で反射した散乱光Ｌｓを第２の検出部５に進行させる。本実施形態では、出力ステップにおいて、ステージ２を対象物Ｓの表面Ｓａの面内方向に駆動し、検査用レーザ光Ｌｄによる計測点を対象物Ｓの表面Ｓａに対して走査しながら、検出ステップ及び算出ステップを繰り返し実行する。これにより、対象物Ｓの表面Ｓａの所望の領域における表面粗さの計測を実施できる。

[0061] 続いて、本開示の一実施形態に係る加工装置について説明する。図５は、加工装置の構成の一例を示す模式的な図である。図５に示す加工装置２１Ａは、対象物Ｓの表面Ｓａの表面にレーザ研磨加工を施すと共に、研磨領域に

おける対象物Ｓの表面粗さのリアルタイム計測を行う装置として構成されている。

[0062] 図５に示すように、加工装置２１Ａは、加工用光源２２と、図１に示した計測装置１とを含んで構成されている。加工用光源２２は、対象物Ｓの表面Ｓａに対して加工用レーザ光Ｌｗを出力する。加工用光源２２としては、例えばＹＡＧレーザなどを用いることができる。加工用レーザ光Ｌｗは、例えばパルス光である。一例として、加工用レーザ光Ｌｗの波長は１０６４ｎｍ、出力強度は５ＧＷ／ｃｍ^2、ビーム径は５０μｍ、繰り返し周波数は３００ｋＨｚとなっている。なお、加工用レーザ光ＬｗとしてＣＷ光を用いてもよい。この場合、一例として、出力パワー１００W程度のファイバーレーザ（波長１０９０ｎｍ）などを用いることができる。

[0063] 加工用光源２２から出力した加工用レーザ光Ｌｗは、集光レンズ２３によって集光され、ステージ２に載置された対象物Ｓの表面Ｓａに対して進行する。加工装置２１Ａでは、ステージ２を対象物Ｓの表面Ｓａの面内方向に移動させることで、対象物Ｓの表面Ｓａに対して加工用レーザ光Ｌｗの照射位置Ｐｗと検査用レーザ光Ｌｄの照射位置Ｐｄとを走査できる。これにより、対象物Ｓの表面Ｓａにレーザ研磨加工を施すと共に、研磨領域における対象物Ｓの表面粗さのリアルタイム計測が可能となっている。

[0064] 本実施形態では、まず、対象物Ｓの表面Ｓａにおける任意の点に検査用レーザ光Ｌｄを照射し、算出部６によって計測点Ｐｄにおける表面粗さを算出する。計測点Ｐｄにおける表面粗さを算出後、ステージ２を面内方向に移動させて加工用レーザ光Ｌｗの照射位置Ｐｗを計測点Ｐｄの位置に移動させ、当該位置の加工を実施する。このように、別々の点について同時に表面粗さの算出と加工を実施することで、スループットの向上が図られる。

[0065] 加工装置２１Ａでは、加工用レーザ光Ｌｗの照射によって対象物Ｓの表面Ｓａでプラズマが発生し、当該プラズマの発光Ｌｐが第１の検出部４及び第２の検出部５に進行することが考えられる。プラズマの発光Ｌｐは、対象物Ｓの表面Ｓａにおける加工用レーザ光Ｌｗの照射位置（計測点）Ｐｗを起点

に全方位に拡散する。このようなプラズマの発光Ｌｐに対し、加工装置２１Ａでは、検査用レーザ光Ｌｄ、正反射光Ｌｒ、及び散乱光Ｌｓの光路に対して上述した軸外放物面ミラー素子１１が配置されている。軸外放物面ミラー素子１１の貫通孔１４は、正反射光Ｌｒのみを第１面１２側に通過させるアパーチャとして機能し、プラズマの発光Ｌｐが第１の検出部４に進行することを抑制する。

[0066] また、プラズマの発光Ｌｐが第２の検出部５に進行することを抑制する観点から、加工装置２１Ａでは、対象物Ｓの表面Ｓａに入射する加工用レーザ光Ｌｗと検査用レーザ光Ｌｄとが空間的にずれた状態となっている。図５の例では、加工用レーザ光Ｌｗと検査用レーザ光Ｌｄとは、非同軸となっており、加工用レーザ光Ｌｗは、対象物Ｓの表面Ｓａに向かって垂直に進行する検査用レーザ光Ｌｄに対して傾斜した状態で対象物Ｓの表面Ｓａに向かって進行する。

[0067] 対象物Ｓの表面Ｓａにおいて、検査用レーザ光Ｌｄの照射位置Ｐｄは、加工用レーザ光Ｌｗの照射位置Ｐｗからずれている。照射位置Ｐｄ，Ｐｗ間の空間的なずれ量は、対象物Ｓの表面Ｓａにおいて、加工用レーザ光Ｌｗの照射スポットと検査用レーザ光Ｌｄの照射スポットとが互いに重ならない程度であることが好ましい。例えば加工用レーザ光Ｌｗの照射スポット径或いは検査用レーザ光Ｌｄの照射スポット径の２倍程度の間隔をもって、加工用レーザ光Ｌｗの照射位置Ｐｗと検査用レーザ光Ｌｄの照射位置Ｐｄとが離間していることが好ましい。一例として、照射位置Ｐｄ，Ｐｗの間隔は、１ｍｍ程度とすることができる。

[0068] 検査用レーザ光Ｌｄの照射位置Ｐｄと加工用レーザ光Ｌｗの照射位置Ｐｗとが空間的にずれていることで、図５に示すように、軸外放物面ミラー素子１１の第２面１３で反射して第２の検出部５に進行する散乱光Ｌｓの光路とプラズマの発光Ｌｐの光路とを空間的に分離することができる。散乱光Ｌｓの光路とプラズマの発光Ｌｐの光路とが空間的に分離していることで、プラズマの発光Ｌｐが第２の検出部５に入射することが抑制される。

[0069] また、加工装置２１Ａでは、図５に示すように、第２面１３と第２の検出部５との間の散乱光Ｌｓの光路にアパーチャ２４が配置されている。アパーチャ２４は、例えばピンホールによって構成されている。図５の例では、アパーチャ２４は、集光レンズ８と第２の検出部５との間に配置されている。アパーチャ２４は、散乱光Ｌｓのみを通過させるように配置され、散乱光Ｌｓに対して空間的に分離されたプラズマの発光Ｌｐを第２の検出部５の手前で遮光する。アパーチャ２４によって散乱光Ｌｓのみを第２の検出部５に進行させるという観点からは、ピンホールの幅（ピンホールが円形の場合は開口径）は、１ｍｍ以下であることが好ましい。本実施形態では、ピンホールが円形をなしており、その開口径は、例えば０．１ｍｍとなっている。

[0070] 以上説明したように、本実施形態に係る計測装置１及び計測方法では、軸外放物面ミラー素子１１の配置により、第１の検出部４での正反射光Ｌｒの検出と第２の検出部５での散乱光Ｌｓの検出とを同時実施できる。対象物Ｓの表面Ｓａで生じた散乱光Ｌｓは、凹状の放物ミラー面である軸外放物面ミラー素子１１の第２面１３によって一定の立体角をもって第２の検出部５に進行する。したがって、対象物Ｓの表面Ｓａが研磨面であって散乱光Ｌｓに異方性がある場合、或いは対象物Ｓの表面Ｓａが平滑面であって散乱光Ｌｓが微弱な場合であっても、第２の検出部５において散乱光Ｌｓを十分な強度で検出できる。

[0071] また、計測装置１では、軸外放物面ミラー素子１１の貫通孔１４が正反射光Ｌｒのみを通過させるアパーチャとして機能し、正反射光Ｌｒ以外の光が第１の検出部４に進行することを抑制できると共に、第２面１３で反射した散乱光Ｌｓを加工用レーザ光Ｌｗに対して空間的或いは時間的にずらすことで、加工用レーザ光Ｌｗの照射によって対象物Ｓの表面Ｓａで発生したプラズマの発光Ｌｐが散乱光と共に第２の検出部５に進行することを抑制できる。したがって、計測装置１では、レーザ研磨加工における対象物Ｓの表面粗さのリアルタイム計測を好適に実施できる。

[0072] 計測装置１は、第１の検出部４で検出された正反射光Ｌｒの強度と、第２

の検出部５で検出された散乱光Ｌｓの強度との比に基づいて、対象物Ｓの表面粗さを算出する算出部６を備えている。このような算出手法により、対象物Ｓの表面粗さの算出にあたって、検査用レーザ光Ｌｄの出力の揺らぎの影響を排除できる。したがって、表面粗さの計測精度の向上が図られる。

[0073] 計測装置１では、軸外放物面ミラー素子１１は、検査用光源３からの検査用レーザ光Ｌｄが第１面１２側から貫通孔１４を通って対象物Ｓの表面Ｓａに垂直に進行するように配置されている。検査用レーザ光Ｌｄが対象物Ｓの表面Ｓａに斜めに進行する場合、対象物Ｓの高さがずれた場合に正反射光Ｌｒの光路が大きくずれ、第１の検出部４に進行しなくなることが考えられる。検査用レーザ光Ｌｄが対象物Ｓの表面Ｓａに垂直に進行するように軸外放物面ミラー素子１１を配置することで、対象物Ｓの高さずれが生じた場合でも正反射光Ｌｒの光路が維持されるため、表面粗さの計測精度を担保できる。

[0074] 計測装置１では、貫通孔１４は、第１面１２側から第２面１３側に向かうにつれて徐々に狭小となっている。これにより、貫通孔１４のアパーチャとしての機能が強化され、散乱光Ｌｓ或いは加工用レーザ光Ｌｗに起因するプラズマの発光Ｌｐが第１の検出部４に進行することをより確実に抑制できる。したがって、表面粗さの計測精度の一層の向上が図られる。

[0075] 計測装置１では、第２面１３と第２の検出部５との間の散乱光Ｌｓの光路に集光レンズ８が配置されている。これにより、第２の検出部５での散乱光Ｌｓの検出強度を一層高めることができる。したがって、表面粗さの計測精度の一層の向上が図られる。

[0076] 計測装置１では、検査用光源３と第１面１２との間の検査用レーザ光Ｌｄの光路、及び第１面１２と第１の検出部４との間の正反射光Ｌｒの光路の一部を共通化するハーフミラー７が配置されている。このように、検査用レーザ光Ｌｄの光路及び正反射光Ｌｒの光路の一部を共通化することで、装置の小型化が図られる。

[0077] 計測装置１は、対象物Ｓと軸外放物面ミラー素子１１との間の位置関係を

相対的に調整する調整機構として、軸外放物面ミラー素子１１を第１面１２側から貫通孔１４を通って対象物Ｓに向かう検査用レーザ光Ｌｄの進行方向に移動自在に保持する保持部９を備えている。これにより、高さの異なる対象物Ｓを計測する場合でも、軸外放物面ミラー素子１１と対象物Ｓの表面Ｓａとの間の距離を、凹状の放物ミラー面である軸外放物面ミラー素子１１の第２面１３の焦点距離に容易に合わせることができる。

[0078] 計測装置１は、対象物Ｓと軸外放物面ミラー素子１１との間の位置関係を相対的に調整する調整機構として、対象物Ｓを第１面１２側から貫通孔１４を通って対象物Ｓに向かう検査用レーザ光Ｌｄの進行方向に移動自在に保持するステージ２を備えている。これにより、高さの異なる対象物Ｓを計測する場合でも、軸外放物面ミラー素子１１と対象物Ｓの表面Ｓａとの間の距離を、凹状の放物ミラー面である軸外放物面ミラー素子１１の第２面１３の焦点距離に容易に合わせることができる。

[0079] 計測装置１では、第１の検出部４及び第２の検出部５がシングルチャネルの光検出器によって構成されている。これにより、粗さ計測に用いる情報が正反射光Ｌｒ及び散乱光Ｌｓの強度信号（電流値信号）のみとなる。したがって、２次元の画像処理に基づいて粗さ計測を行う場合に比べて扱うデータ量を削減でき、処理の高速化が図られる。

[0080] また、加工装置２１Ａでは、上述した計測装置１を用いることで、レーザ研磨加工における対象物Ｓの表面粗さのリアルタイム計測を好適に実施できる。加工装置２１Ａでは、上述したステージ２によって加工用レーザ光Ｌｗ及び検査用レーザ光Ｌｄを対象物Ｓの表面Ｓａに対して走査できる。したがって対象物Ｓの表面粗さの計測を加工領域に沿って連続的に実施でき、加工の作業性を向上できる。

[0081] 加工装置２１Ａでは、対象物Ｓの表面Ｓａにおいて、検査用レーザ光Ｌｄの照射位置Ｐｄが加工用レーザ光Ｌｗの照射位置Ｐｗからずれている。これにより、軸外放物面ミラー素子１１の第２面１３で反射して第２の検出部５に進行する散乱光Ｌｓの光路と、同じく軸外放物面ミラー素子１１の第２面

１３で反射して第２の検出部５に進行するプラズマの発光Ｌｐの光路とを空間的に分離することができる。散乱光Ｌｓの光路とプラズマの発光Ｌｐの光路とが空間的に分離していることで、プラズマの発光Ｌｐが第２の検出部５に入射することが抑制され、プラズマの発光Ｌｐが対象物Ｓの表面粗さの計測に影響することを抑制できる。

[0082] 加工装置２１Ａでは、第２面１３と第２の検出部５との間の散乱光Ｌｓの光路において、散乱光Ｌｓのみを通過させるアパーチャ２４が配置されている。この場合、散乱光Ｌｓ以外の光をアパーチャ２４によって遮光できるため、加工用レーザ光Ｌｗに起因するプラズマの発光Ｌｐが第２の検出部５に進行することを抑止できる。したがって、対象物Ｓの表面粗さのリアルタイム計測をより好適に実施できる。

[0083] 図６は、加工装置の構成の別例を示す模式的な図である。図６に示す加工装置２１Ｂは、対象物Ｓに向かう加工用レーザ光Ｌｗと検査用レーザ光Ｌｄとが同軸となっている点で、図５に示した加工装置２１Ａと相違している。図６の例では、加工用光源２２から出力した加工用レーザ光Ｌｗは、ダイクロイックミラー２５で反射し、集光レンズ２３によって集光される。その後、加工用レーザ光Ｌｗは、軸外放物面ミラー素子１１の貫通孔１４を第１面１２側から通って、ステージ２に載置された対象物Ｓの表面Ｓａに対して進行する。

[0084] 検査用光源３から出力した検査用レーザ光Ｌｄは、ハーフミラー７で反射し、ダイクロイックミラー２５を透過し、加工用レーザ光Ｌｗと同軸となる。その後、検査用レーザ光Ｌｄは、集光レンズ２３によって加工用レーザ光Ｌｗと共に集光され、軸外放物面ミラー素子１１の貫通孔１４を第１面１２側から通って、ステージ２に載置された対象物Ｓの表面Ｓａに対して進行する。検査用レーザ光Ｌｄの計測点における正反射光Ｌｒは、加工用レーザ光Ｌｗ及び検査用レーザ光Ｌｄと同軸かつ逆向きで第２面１３側から貫通孔１４を通り、ダイクロイックミラー２５及びハーフミラー７を透過した後、第１の検出部４に入射する。

[0085] 加工装置２１Ｂでは、検査用レーザ光Ｌｄの照射位置Ｐｄと加工用レーザ光Ｌｗの照射位置Ｐｗとが一致している一方で、対象物Ｓの表面Ｓａに入射する加工用レーザ光Ｌｗと検査用レーザ光Ｌｄとが時間的にずれた状態となっている。図６の例では、加工装置２１Ｂは、加工用レーザ光Ｌｗと検査用レーザ光Ｌｄとが互いに異なる期間で対象物Ｓの表面Ｓａに照射されるように加工用光源２２及び検査用光源３を制御する制御部２６を備えている。

[0086] 制御部２６は、例えばＣＷ光である検査用レーザ光Ｌｄをパルス状に成形する機械式シャッタによって構成されている。制御部２６は、例えば図７に示すように、検査用レーザ光Ｌｄが加工用レーザ光Ｌｗと同じパルス幅及び繰り返し周波数となり、且つ互いの出力期間が重なり合わないように（検査用レーザ光Ｌｄのパルスと加工用レーザ光Ｌｗのパルスとが互いに重なり合わないように）検査用レーザ光Ｌｄを成形する。制御部２６は、加工用レーザ光Ｌｗ及び検査用レーザ光Ｌｄの出力期間を示す情報を生成し、算出部６に出力する。算出部６は、加工用レーザ光Ｌｗが対象物Ｓの表面Ｓａに照射されていない期間Ｔに第１の検出部４で検出された正反射光Ｌｒの強度と、同期間Ｔに第２の検出部５で検出された散乱光Ｌｓの強度との比に基づいて、対象物Ｓの表面粗さを算出する。なお、検査用レーザ光Ｌｄ及び加工用レーザ光Ｌｗの繰り返し周波数は、互いに異なっていてもよい。例えば加工用レーザ光Ｌｗの繰り返し周波数を検査用レーザ光Ｌｄの繰り返し周波数よりも大きくすることで、加工用レーザ光Ｌｗの複数回（例えば２～２０回程度）の出力ごとに１回の検査用レーザ光Ｌｄを出力してもよい。また、検査用レーザ光Ｌｄ及び加工用レーザ光Ｌｗのパルス幅は、互いに異なっていてもよい。例えば加工用レーザ光Ｌｗを極めて短いパルス幅を有するバーストパルスとして出力してもよい。

[0087] このような加工装置２１Ｂにおいても、図５に示した加工装置２１Ａと同様、レーザ研磨加工における対象物Ｓの表面粗さのリアルタイム計測を好適に実施できる。また、加工装置２１Ｂでは、第２面１３で反射して第２の検出部５に向かう散乱光Ｌｓと、同じく第２面１３で反射して第２の検出部５

に進行するプラズマの発光Ｌｐとが時間的にずれるため、プラズマの発光Ｌｐが第２の検出部５での散乱光Ｌｓの検出に影響することを抑止できる。したがって、対象物Ｓの表面粗さのリアルタイム計測をより好適に実施できる。

[0088] 加工装置２１Ｂでは、加工用レーザ光Ｌｗが対象物Ｓの表面Ｓａに照射されていない期間Ｔに第１の検出部４で検出された正反射光Ｌｒの強度と、同期間Ｔに第２の検出部５で検出された散乱光Ｌｓの強度との比に基づいて、算出部６が対象物Ｓの表面粗さを算出する。これにより、対象物Ｓの表面粗さの算出にあたって、加工用レーザ光Ｌｗに起因するプラズマの発光Ｌｐの影響を排除でき、表面粗さの計測精度の向上が図られる。

[0089] 加工装置２１Ｂにおける光学系の構成は、図６に示した例に限られず、他の構成を採用してもよい。例えば第２面１３側から貫通孔１４を通って第１の検出部４に向かう正反射光Ｌｒの光路を、対象物Ｓに向かう加工用レーザ光Ｌｗの光路から分離する構成としてもよい。正反射光Ｌｒの光路と加工用レーザ光Ｌｗとの分離には、例えばハーフミラーを用いることができる。この場合、加工用レーザ光Ｌｗと検査用レーザ光Ｌｄとを同軸にした場合でも、加工用レーザ光Ｌｗの正反射光が第１の検出部４に進行することを抑制できる。

[0090] また、加工装置２１Ｂにおいて、機械式シャッタに代えて、第１の検出部４及び第２の検出部５からのデータの読み出しのタイミングを加工用レーザ光Ｌｗの照射のタイミングとずらす態様としてもよい。データ読み出しのタイミングと加工用レーザ光Ｌｗの照射のタイミングをずらす態様を機械式シャッタと併用してもよい。

[0091] 図８は、加工装置の構成の更なる別例を示す模式的な図である。図８に示す加工装置２１Ｃは、対象物Ｓに向かう加工用レーザ光Ｌｗと検査用レーザ光Ｌｄとを非同軸とした上で、更に図６に示した制御部２６が設けられている点で、図６に示した加工装置と相違している。図８の例では、加工用光源２２から出力した加工用レーザ光Ｌｗと、検査用光源３から出力した検査用

レーザ光Ｌｄとが空間的にずれた状態で軸外放物面ミラー素子１１の貫通孔１４を第１面１２側から通り、ステージ２に載置された対象物Ｓの表面Ｓａに対して進行する。ここでの空間的なずれ量は、図５の場合と同様に、対象物Ｓの表面Ｓａにおいて、加工用レーザ光Ｌｗの照射スポットと検査用レーザ光Ｌｄの照射スポットとが互いに重ならない程度のずれ量であることが好ましい。

[0092] このような加工装置２１Ｃによれば、図５の場合と同様に、散乱光Ｌｓに対して空間的に分離されたプラズマの発光Ｌｐをアパーチャ２４によって第２の検出部５の手前で遮光することができる。また、図６の場合と同様に、加工用レーザ光Ｌｗが対象物Ｓの表面Ｓａに照射されていない期間Ｔに第１の検出部４で検出された正反射光Ｌｒの強度と、同期間Ｔに第２の検出部５で検出された散乱光Ｌｓの強度との比に基づいて、対象物Ｓの表面粗さを算出できる。したがって、対象物Ｓの表面粗さの算出にあたって、加工用レーザ光Ｌｗに起因するプラズマの発光Ｌｐの影響を排除でき、表面粗さの計測精度の向上が図られる。

[0093] 本開示は、上記実施形態に限られるものではない。例えば上記実施形態では、軸外放物面ミラー素子１１に貫通孔１４が単体で設けられているが、軸外放物面ミラー素子１１に複数の貫通孔１４が設けられていてもよい。この場合、例えば一方の貫通孔１４を第１面１２の法線方向に対して傾斜させて形成し、他方の貫通孔１４を第１面１２の法線方向に対して一方の貫通孔１４と反対側に傾斜させて形成する。そして、検査用レーザ光Ｌｄを一方の貫通孔１４を介して第１面１２側から第２面１３側に進行させ、正反射光Ｌｒを他方の貫通孔１４を介して第２面１３側から第１面１２側に進行させる。このような態様であっても、上記実施形態と同様、レーザ研磨加工における対象物の表面粗さのリアルタイム計測を好適に実施できる。

符号の説明

[0094] １…計測装置、２…ステージ（調整機構）、３…検査用光源、４…第１の検出部、５…第２の検出部、６…算出部、７…ハーフミラー、８…集光レン

ズ、９…保持部（調整機構）、１１…軸外放物面ミラー素子、１２…第１面、１３…第２面、１４…貫通孔、２１Ａ～２１Ｃ…加工装置、２２…加工用光源、２４…アパーチャ、Ｌｄ…検査用レーザ光、Ｌｗ…加工用レーザ光、Ｌｒ…正反射光、Ｌｓ…散乱光、Ｌｐ…プラズマの発光、Ｓ…対象物、Ｓａ…表面、Ｐｄ…検査用レーザ光の照射位置（計測点）、Ｐｗ…加工用レーザ光の照射位置、Ｔ…加工用レーザ光が対象物の表面に照射されていない期間。

請求の範囲

[請求項1] 対象物の表面粗さを計測する計測装置であって、

前記対象物の表面に対して検査用レーザ光を出力する検査用光源と、

前記対象物の表面の計測点からの前記検査用レーザ光の正反射光を検出する第１の検出部と、

前記対象物の表面の前記計測点からの前記検査用レーザ光の散乱光を検出する第２の検出部と、

第１面と、凹状の放物ミラー面によって構成され、前記第１面の反対に位置する第２面と、前記第１面と前記第２面とを結ぶ貫通孔とを有する軸外放物面ミラー素子と、を備え、

前記軸外放物面ミラー素子は、前記検査用光源からの前記検査用レーザ光が前記第１面側から前記貫通孔を通って前記対象物に進行し、前記第２面側から前記貫通孔を通った前記正反射光が前記第１の検出部に進行し、前記第２面で反射した前記散乱光が前記第２の検出部に進行するように配置されている、計測装置。

[請求項2] 前記第１の検出部で検出された前記正反射光の強度と、前記第２の検出部で検出された前記散乱光の強度との比に基づいて、前記対象物の表面粗さを算出する算出部を更に備える、請求項１記載の計測装置。

[請求項3] 前記軸外放物面ミラー素子は、前記検査用光源からの前記検査用レーザ光が前記第１面側から前記貫通孔を通って前記対象物の表面に垂直に進行するように配置されている、請求項１又は２記載の計測装置。

[請求項4] 前記貫通孔は、前記第１面側から前記第２面側に向かうにつれて徐々に狭小となっている、請求項１～３のいずれか一項記載の計測装置。

[請求項5] 前記第２面と前記第２の検出部との間の前記散乱光の光路に集光レ

ンズが更に配置されている、請求項１～４のいずれか一項記載の計測装置。

[請求項6] 前記検査用光源と前記第１面との間の前記検査用レーザ光の光路、及び前記第１面と前記第１の検出部との間の前記正反射光の光路の一部を共通化するハーフミラーが更に配置されている、請求項１～５のいずれか一項記載の計測装置。

[請求項7] 前記第１面側から前記貫通孔を通って前記対象物に向かう前記検査用レーザ光の進行方向について、前記対象物と前記軸外放物面ミラー素子との間の位置関係を相対的に調整する調整機構を有する、請求項１～６のいずれか一項記載の計測装置。

[請求項8] 前記調整機構は、前記軸外放物面ミラー素子を前記第１面側から前記貫通孔を通って前記対象物に向かう前記検査用レーザ光の進行方向に移動自在に保持する保持部によって構成されている、請求項７記載の計測装置。

[請求項9] 前記調整機構は、前記対象物を前記第１面側から前記貫通孔を通って前記対象物に向かう前記検査用レーザ光の進行方向に移動自在に保持するステージによって構成されている、請求項７記載の計測装置。

[請求項10] 前記第１の検出部及び前記第２の検出部は、シングルチャネルの光検出器によって構成されている、請求項１～９のいずれか一項記載の計測装置。

[請求項11] 対象物の表面粗さを計測する計測方法であって、

前記対象物の表面に対して検査用レーザ光を出力する出力ステップと、

前記対象物の表面の計測点からの前記検査用レーザ光の正反射光を第１の検出部で検出すると共に、前記対象物の表面の前記計測点からの前記検査用レーザ光の散乱光を第２の検出部で検出する検出ステップと、を備え、

前記出力ステップ及び前記検出ステップでは、

第１面と、凹状の放物ミラー面によって構成され、前記第１面の反対に位置する第２面と、前記第１面と前記第２面とを結ぶ貫通孔とを有する軸外放物面ミラー素子を用い、

前記検査用レーザ光が前記第１面側から前記貫通孔を通って前記対象物に進行し、前記第２面側から前記貫通孔を通った前記正反射光が前記第１の検出部に進行し、前記第２面で反射した前記散乱光が前記第２の検出部に進行するように前記軸外放物面ミラー素子を配置する、計測方法。

[請求項12] 対象物の表面を加工する加工装置であって、

前記対象物の表面に対して加工用レーザ光を出力する加工用光源と、

請求項１～１０のいずれか一項記載の計測装置と、を備える加工装置。

[請求項13] 前記第１の検出部で検出された前記正反射光の強度と、前記第２の検出部で検出された前記散乱光の強度との比に基づいて、前記対象物の表面粗さを算出する算出部を更に備える、請求項１２記載の加工装置。

[請求項14] 前記対象物を前記第１面側から前記貫通孔を通って前記対象物に向かう前記検査用レーザ光の進行方向と前記対象物の表面の面内方向とに移動自在に保持するステージを更に備える、請求項１２又は１３記載の加工装置。

[請求項15] 前記対象物の表面において、前記検査用レーザ光の照射位置が前記加工用レーザ光の照射位置からずれている、請求項１２～１４のいずれか一項記載の加工装置。

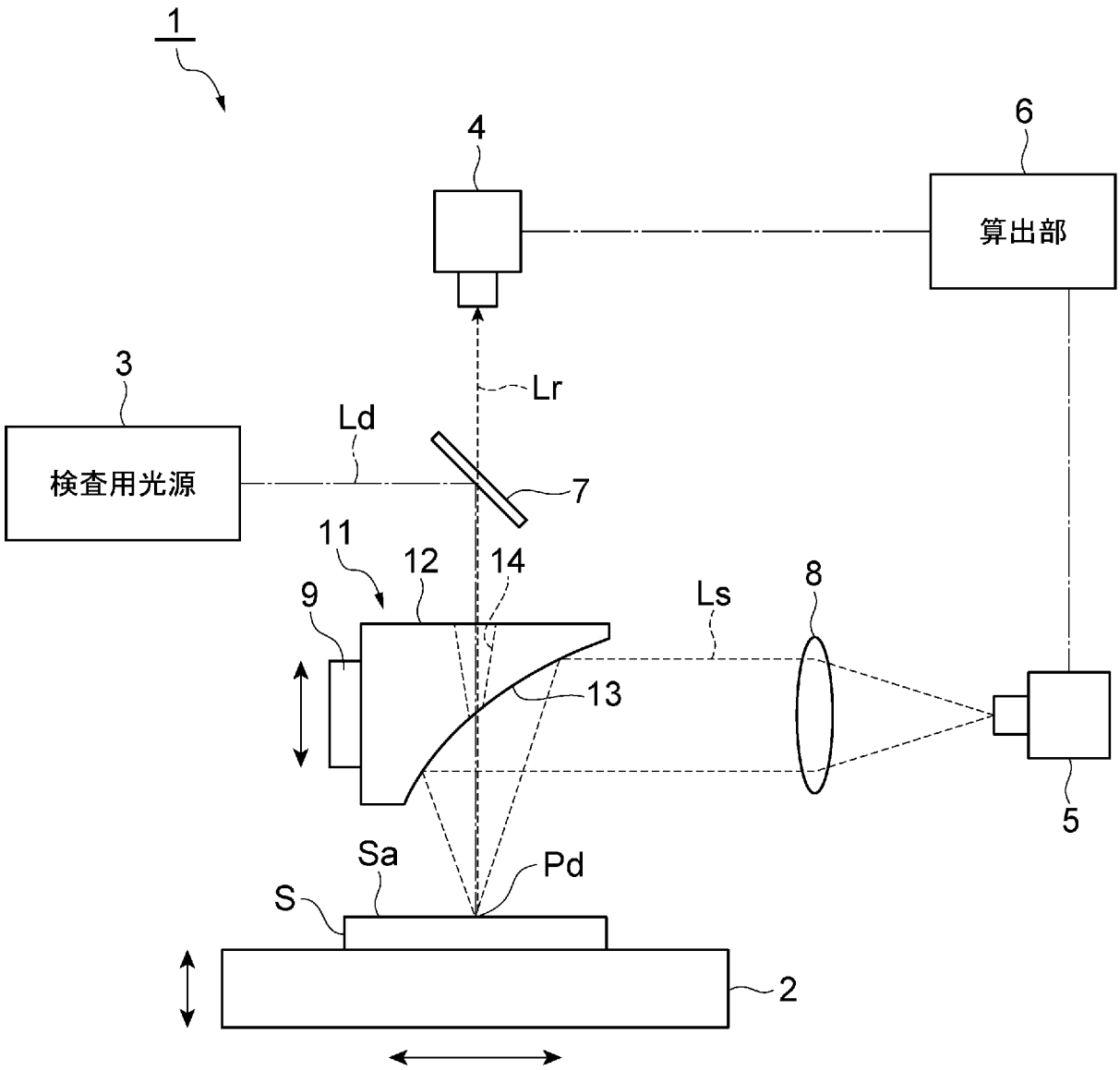
[請求項16] 前記第２面と前記第２の検出部との間の前記散乱光の光路には、前記散乱光のみを通過させるアパーチャが配置されている、請求項１５記載の加工装置。

[請求項17] 前記加工用レーザ光と前記検査用レーザ光とが互いに異なる出力期

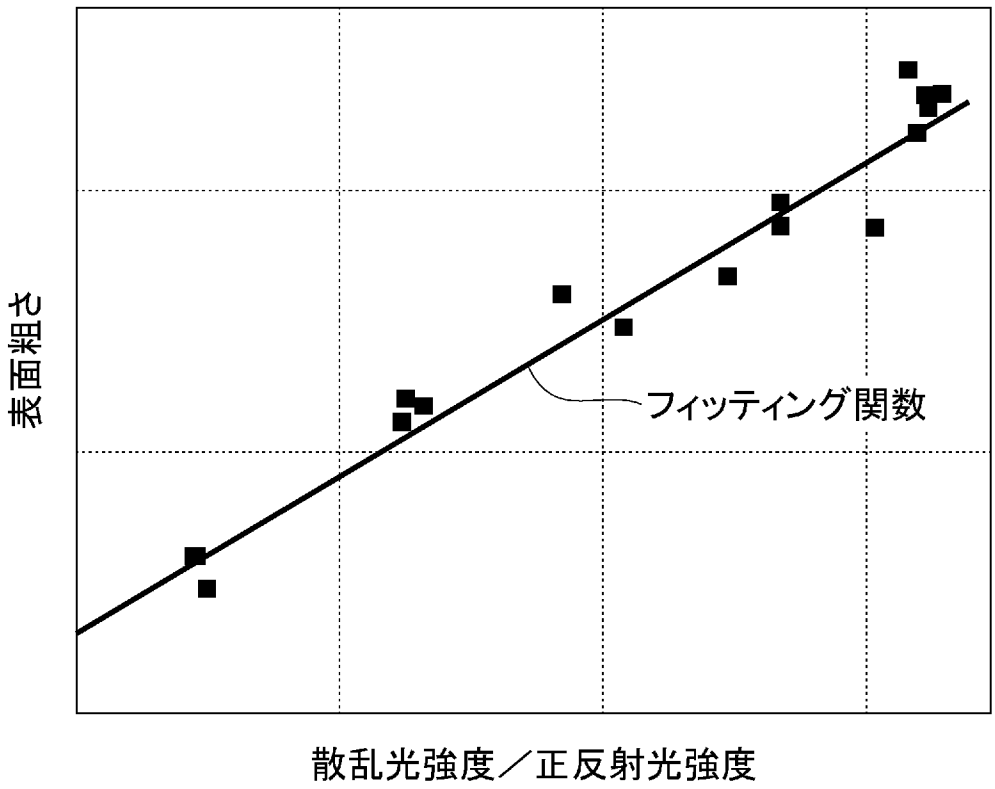
間で前記対象物の表面に照射されるように前記加工用光源及び前記検査用光源を制御する制御部を更に備える、請求項１３記載の加工装置。

[請求項18] 前記算出部は、前記加工用レーザ光が前記対象物の表面に照射されていない期間に前記第１の検出部で検出された前記正反射光の強度と、同期間に前記第２の検出部で検出された前記散乱光の強度との比に基づいて、前記対象物の表面粗さを算出する、請求項１７記載の加工装置。

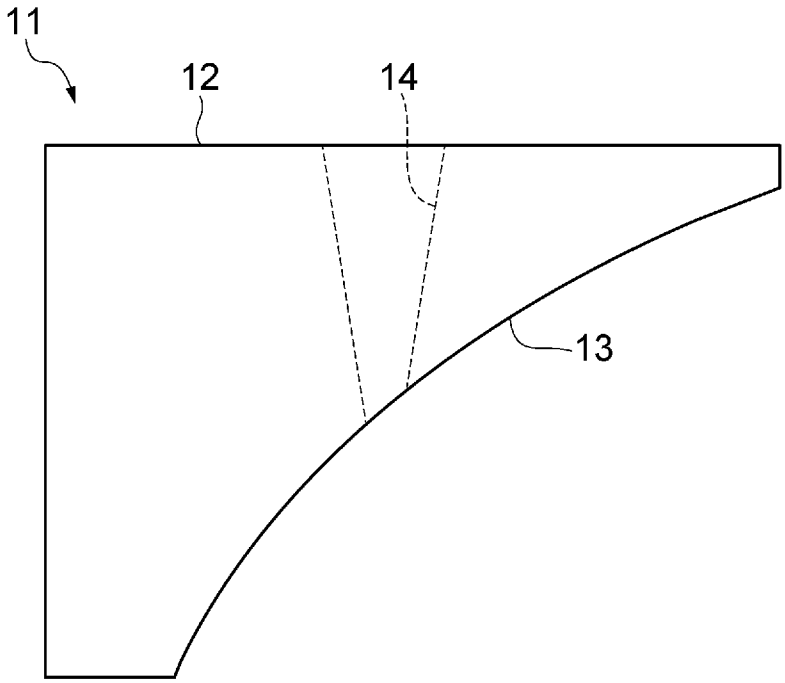
[図1]



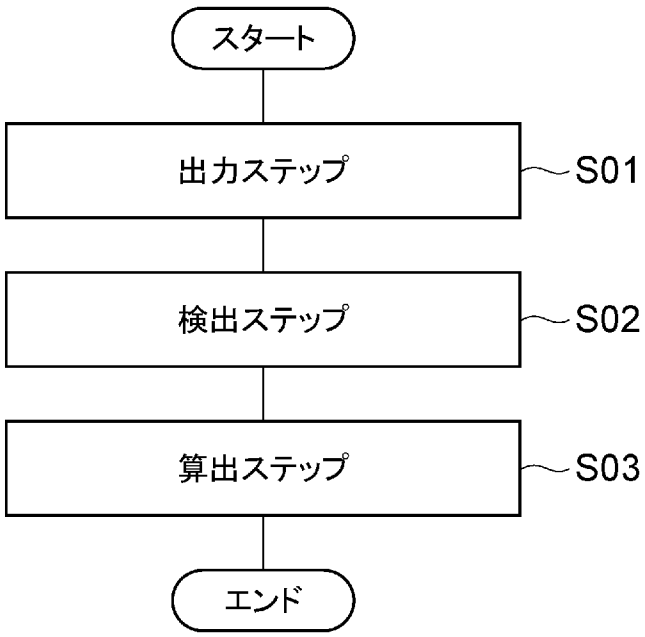
[図2]



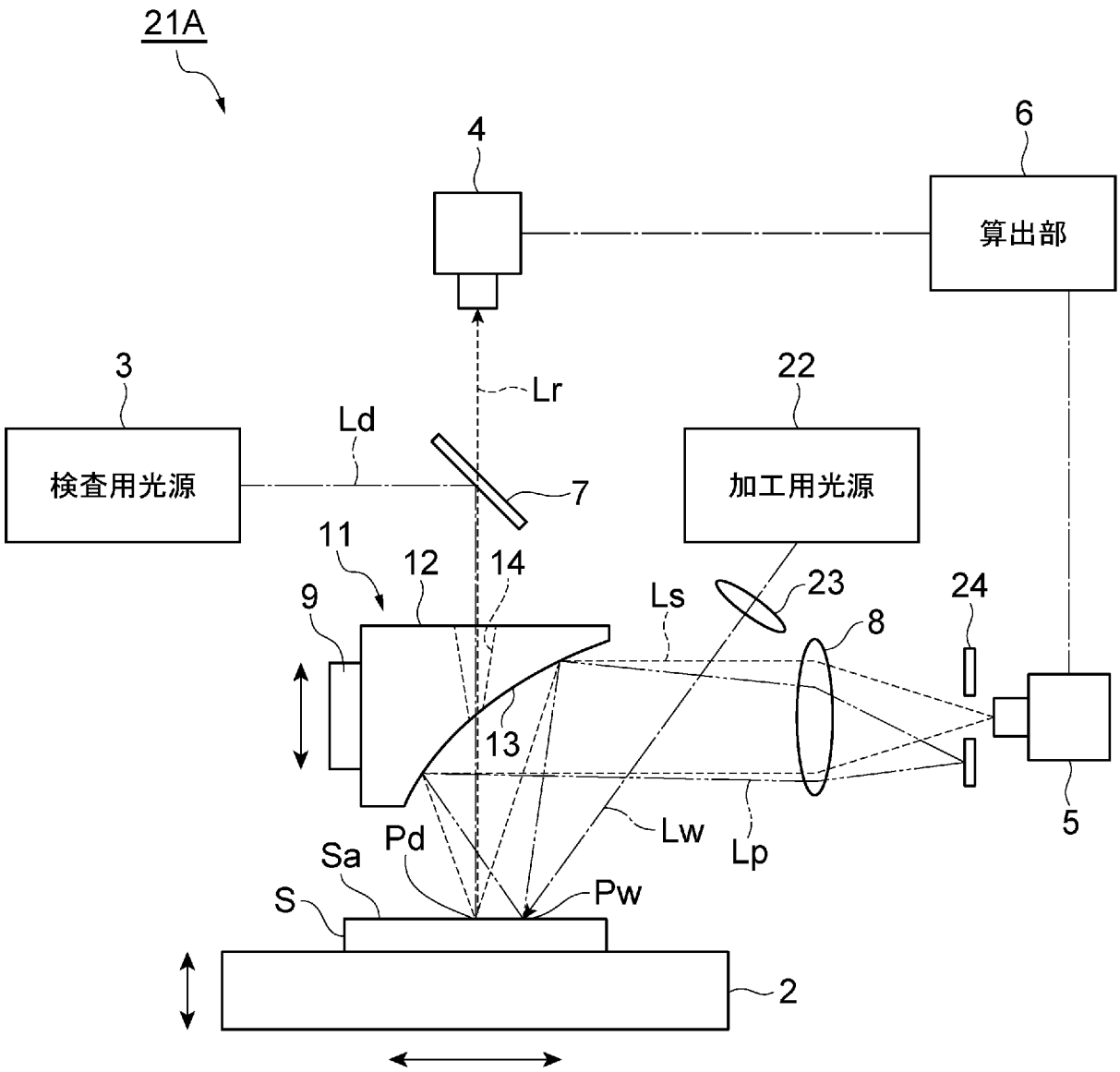
[図3]



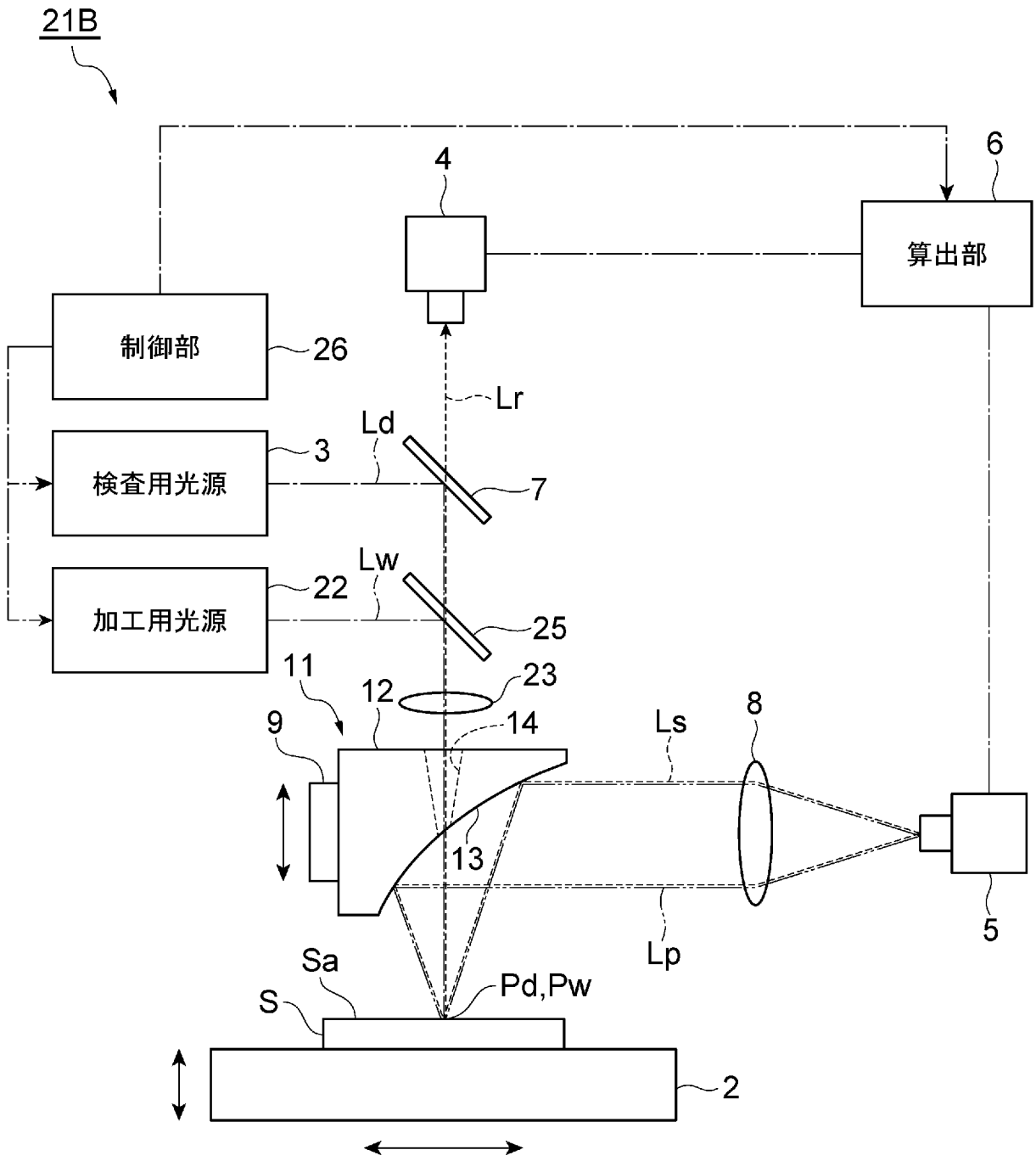
[図4]



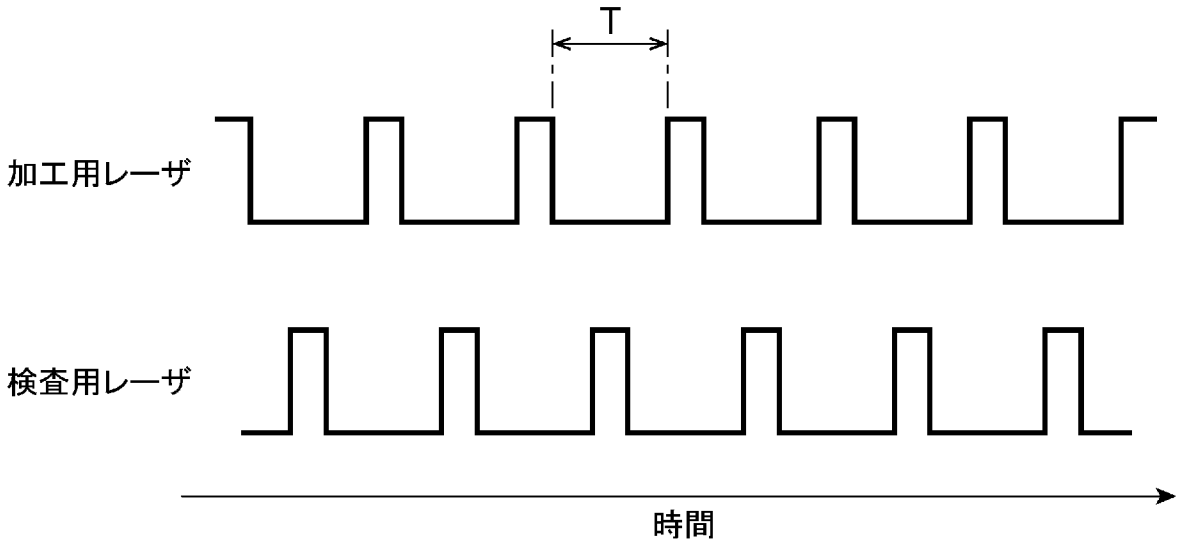
[図5]


21A
4
6
算出部
3
22
Lr
Ld
検査用光源
加工用光源
7
11
12
14
9
Ls
23
24
8
13
5
Lw
Lp
Pd
Sa
Pw
S
2

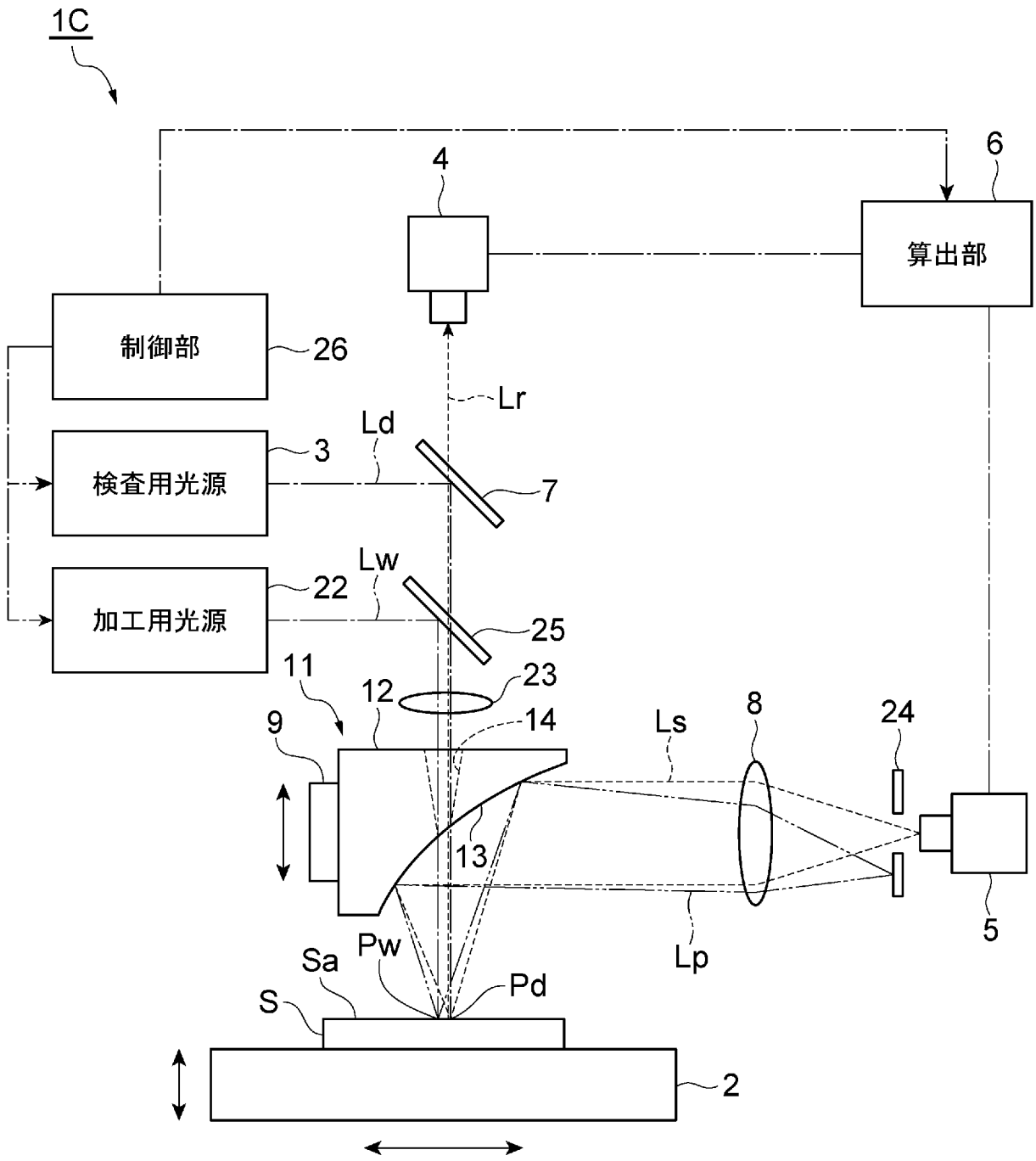
[図6]


21B
4
6
算出部
制御部
26
Lr
Ld
3
検査用光源
7
Lw
22
加工用光源
25
11
12
23
9
14
Ls
8
13
5
Lp
Sa
S
Pd,Pw
2

[図7]



[図8]


1C
4
6
算出部
制御部
26
Lr
Ld
3
検査用光源
7
Lw
22
加工用光源
25
11
12
23
9
14
Ls
8
24
13
5
Lp
Sa
Pw
Pd
S
2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/043915

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 21/47(2006.01)i; ***B23K 26/354***(2014.01)i
FI: G01N21/47 Z; B23K26/354

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N21/00-G01N21/958; G01B11/00-G01B11/30; G02B9/00-G02B21/36; B23K26/00-B23K26/70

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024
Registered utility model specifications of Japan 1996-2024
Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

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

JSTPlus/JST7580 (JDreamIII); Scopus

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4673818 A (POLAROID CORPORATION) 16 June 1987 (1987-06-16) column 2, line 26 to column 3, line 59, column 4, line 14 to column 9, line 57, fig. 1-2	1-18
A	JP 2014-044157 A (RICOH COMPANY, LTD.) 13 March 2014 (2014-03-13) paragraphs [0063]-[0081], fig. 19-23	1-18
A	US 2020/0033263 A1 (THERMO ELECTRON SCIENTIFIC INSTRUMENTS LLC) 30 January 2020 (2020-01-30) paragraphs [0019]-[0046], fig. 1-5	1-18
A	US 2022/0163445 A1 (KAVOSH, Iraj) 26 May 2022 (2022-05-26) paragraphs [0059]-[0062], fig. 1-3	1-18

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"D" document cited by the applicant in the international application
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
06 February 2024	**20 February 2024**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/043915

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US 4673818 A	16 June 1987	(Family: none)	
JP 2014-044157 A	13 March 2014	US 2015/0261163 A1 paragraphs [0097]-[0117], fig. 19-23	
		US 2017/0261903 A1	
		US 2020/0183314 A1	
		WO 2014/034209 A1	
		EP 2890972 A1	
		KR 10-2015-0038288 A	
		CN 104662410 A	
		CN 110058499 A	
US 2020/0033263 A1	30 January 2020	WO 2020/028176 A1	
		EP 3830553 A1	
US 2022/0163445 A1	26 May 2022	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/043915

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G01N 21/47(2006.01)i; B23K 26/354(2014.01)i
FI: G01N21/47 Z; B23K26/354

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

G01N21/00-G01N21/958; G01B11/00-G01B11/30; G02B9/00-G02B21/36; B23K26/00-B23K26/70

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２４年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

JSTPlus/JST7580 (JDreamIII); Scopus

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	US 4673818 A (POLAROID CORPORATION) 16.06.1987 (1987-06-16) Column 2 Line 26-Column 3 Line 59, Colun 4 Line 14-Column 9 Line 57, FIGs 1-2	1-18
A	JP 2014-044157 A (株式会社リコー) 13.03.2014 (2014-03-13) [0063]-[0081], [図19]-[図23]	1-18
A	US 2020/0033263 A1 (THERMO ELECTRON SCIENTIFIC INSTRUMENTS LLC) 30.01.2020 (2020-01-30) [0019]-[0046], FIG. 1-FIG. 5	1-18
A	US 2022/0163445 A1 (KAVOSH, IRAJ) 26.05.2022 (2022-05-26) [0059]-[0062], FIG. 1-FIG. 3	1-18

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
"D" 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献
"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
"&" 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
06.02.2024	20.02.2024

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
清水　靖記 2W 3605
電話番号 03-3581-1101 内線 3258

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2023/043915

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
US 4673818 A	16.06.1987	（ファミリーなし）	
JP 2014-044157 A	13.03.2014	US 2015/0261163 A1 [0097]-[0117], FIG.19-FIG. 23	
		US 2017/0261903 A1	
		US 2020/0183314 A1	
		WO 2014/034209 A1	
		EP 2890972 A1	
		KR 10-2015-0038288 A	
		CN 104662410 A	
		CN 110058499 A	
US 2020/0033263 A1	30.01.2020	WO 2020/028176 A1	
		EP 3830553 A1	
US 2022/0163445 A1	26.05.2022	（ファミリーなし）	