

(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
2022年6月23日(23.06.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/130587 A1

(51) 国際特許分類:
G01B 11/06 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2020/047258

(22) 国際出願日: 2020年12月17日(17.12.2020)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人:三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 山内 隆典 (YAMAUCHI, Takanori); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 西

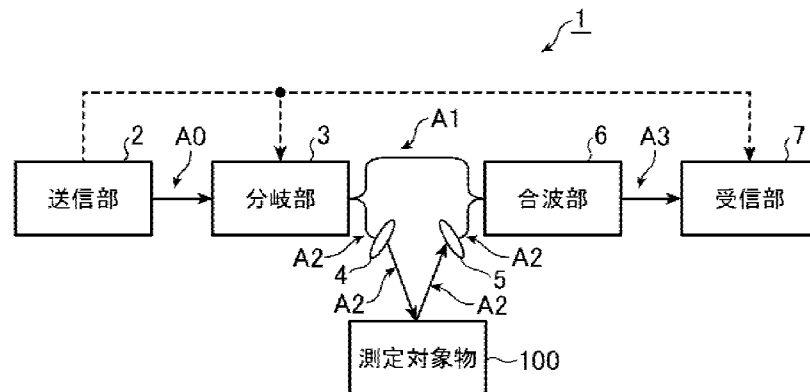
岡 隼也(NISHIOKA, Junya); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 後藤 広樹(GOTO, Hiroki); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 鈴木 巨生(SUZUKI, Naoki); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人山王内外特許事務所 (SANNO PATENT ATTORNEYS OFFICE); 〒1000014 東京都千代田区永田町二丁目12番4号 赤坂山王センタービル5階 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,

(54) Title: LIGHT MEASUREMENT DEVICE AND LIGHT MEASUREMENT METHOD

(54) 発明の名称: 光測定装置および光測定方法



2 Transmission unit
3 Splitting unit
6 Multiplexing unit
7 Reception unit
100 To-be-measured object

(57) Abstract: This light measurement device (1) comprises a transmission unit (2), a splitting unit (3), a multiplexing unit (6), and a reception unit (7). In a first measurement mode, the transmission unit (2) sweeps and outputs the frequency of light emitted from a light source (21), and in a second measurement mode, the transmission unit (2) modulates and outputs a phase difference of two polarized lights included in the light emitted from the light source (21). The splitting unit (3) splits a light (A0) outputted from the transmission unit (2) into a reference light (A1) and a measurement light (A2). The multiplexing unit (6) multiplexes the reference light (A1) and the measurement light (A2) irradiated to and reflected by a to-be-measured object (100). The reception unit (7) receives a light (A3) multiplexed by the multiplexing unit (6), converts the light (A3) to an electrical signal, and uses the converted electrical signal to measure, in the first measurement mode, the to-be-measured object (100) on the basis of a difference frequency between the reference light (A1) and the

BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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))

measurement light (A2), and to measure, in the second measurement mode, the to-be-measured object (100) on the basis of an amplitude ratio and phase difference of the two polarized lights.

(57) 要約: 光測定装置 (1) は、第1の測定モードにおいて、光源 (21) から出射された光の周波数を掃引して出力し、第2の測定モードにおいて、光源 (21) から出射された光に含まれる2つの偏光の位相差を変調して出力する送信部 (2) と、送信部 (2) から出力された光 (A0) を参照光 (A1) と測定光 (A2) とに分岐する分岐部 (3) と、参照光 (A1) と、測定対象物 (100) に照射されて反射した測定光 (A2) とを合波する合波部と、合波部 (6) によって合波された光 (A3) を受光して電気信号に変換し、変換した電気信号を用いて、第1の測定モードにおいて、参照光 (A1) と測定光 (A2) との差周波数に基づいて測定対象物 (100) を測定し、第2の測定モードにおいて、2つの偏光の位相差および振幅比に基づいて測定対象物 (100) を測定する受信部 (7) とを備える。

明 細 書

発明の名称：光測定装置および光測定方法

技術分野

[0001] 本開示は、光測定装置および光測定方法に関する。

背景技術

[0002] 測定対象物の厚み方向の距離を測定する光測定方法として、光の干渉現象を用いる干渉方式の光測定方法が知られている。干渉方式の光測定方法は、光源が出射した光を参照光と測定光とに分岐し、分岐した参照光と、測定光が測定対象物で反射した反射光とを干渉させることにより、参照光と反射光とが強め合う条件に基づいて測定対象物の厚み方向の距離を測定するものである。

[0003] 例えば、非特許文献1には、干渉方式の光測定方法のうち、波長走査干渉方式の光測定方法が記載されている。波長走査干渉方式の光測定方法は、光源が出射した光の波長を掃引し、波長掃引した光を測定光と参照光とに分岐して、分岐した参照光と、測定対象物で反射した測定光とを干渉させるものである。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1：春名正光、“光コヒーレンストモグラフィー（OCT）”、平成22年、MEDICAL PHOTONICS、インターネット<URL：http://www.medicalphotonics.jp/pdf/mp0001/0001_029.pdf>

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 非特許文献1に記載される従来の光測定方法において、測定対象物の厚み方向における測定分解能は、光源が出射した光の波長掃引幅の逆数に比例する。このため、測定対象物の厚み方向における測定分解能を高めるためには

、光源が出射した光の波長掃引幅を拡大する必要があるという課題があった。

[0006] 本開示は上記課題を解決するものであり、光源が出射した光の波長掃引幅を拡大することなく、測定分解能を高めることができる光測定装置および光測定方法を得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本開示に係る光測定装置は、第1の測定モードにおいて、光源から出射された光の周波数を掃引して出力し、第2の測定モードにおいて、光源から出射された光に含まれる2つの偏光の位相差を変調して出力する送信部と、送信部から出力された光を、測定対象物に照射されない参照光と測定対象物に照射される測定光とに分岐する分岐部と、参照光と測定対象物に照射されて反射した測定光とを合波する合波部と、合波部によって合波された光を受光して電気信号に変換し、変換した電気信号を用いて、第1の測定モードにおいて、参照光と測定光との差周波数に基づいて測定対象物を測定し、第2の測定モードにおいて、2つの偏光の位相差および振幅比に基づいて測定対象物を測定する受信部とを備える。

発明の効果

[0008] 本開示によれば、送信部が、第1の測定モードにおいて、光源から出射された光の周波数を掃引して出力し、第2の測定モードにおいて、光源から出射された光に含まれる2つの偏光の位相差を変調して出力し、分岐部が、送信部から出力された光を、測定対象物に照射されない参照光と測定対象物に照射される測定光に分岐し、合波部が、参照光と測定対象物に照射されて反射した測定光とを合波し、受信部が、合波部によって合波された光を受光して電気信号に変換し、変換した電気信号を用いて、第1の測定モードにおいて、参照光と測定光との差周波数に基づいて測定対象物を測定し、第2の測定モードにおいて、2つの偏光の位相差および振幅比に基づいて測定対象物を測定する。

光の周波数掃引、すなわち波長掃引を行う第1の測定モードと、波長掃引

を行わずに、第1の測定モードの測定よりも高い測定分解能が得られる第2の測定モードとを実施するので、本開示に係る光測定装置は、光源が出射した光の波長掃引幅を拡大することなく、測定分解能を高めることができる。

図面の簡単な説明

- [0009] [図1]実施の形態1に係る光測定装置の構成を示すブロック図である。
- [図2]送信部の構成例を示すブロック図である。
- [図3]図3Aは、時間に対する光の周波数掃引の概要を示すグラフであり、図3Bは、時間に対する2つの偏光の位相変調の概要を示すグラフである。
- [図4]送信部における周波数掃引と2つの偏光の位相変調との時分割処理の概要を示すグラフである。
- [図5]測定対象物の一例を示す斜視図である。
- [図6]受信部の構成例を示すブロック図である。
- [図7]図7Aは、参照光と測定光との差周波数成分をフーリエ変換して得られる干渉光スペクトルを示すグラフであり、図7Bは、2つの偏光の位相差と振幅比との関係を示すグラフである。
- [図8]実施の形態1に係る光測定方法を示すフローチャートである。
- [図9]送信部における周波数掃引と2つの偏光の位相変調との同時処理の概要を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0010] 実施の形態1.

図1は、実施の形態1に係る光測定装置1の構成を示すブロック図である。光測定装置1は、測定対象物100の厚み方向の距離（例えば、シリコンウェハの膜厚）を測定する装置であり、送信部2、分岐部3、照射部4、集光部5、合波部6および受信部7を備える。図1において、点線の矢印は、電気信号を示しており、実線の矢印は、光が伝搬する経路を示している。また、実線の矢印で示す経路は、伝搬する光の偏光が保持される経路である。

- [0011] 送信部2は、第1の測定モードにおいて、光源から出射された光の周波数を掃引して出力し、第2の測定モードにおいて、光源から出射された光から

分離した2つの偏光の位相差を変調して出力する。2つの偏光は、p偏光とs偏光であるものとする。第1の測定モードは、広い測定レンジでかつ測定対象物100の厚み方向における測定分解能が低い測定モードである。第2の測定モードは、第1の測定モードよりも狭い測定レンジで、かつ第1の測定モードよりも上記測定分解能が高い測定モードである。

[0012] 第1の測定モードと第2の測定モードとは、送信部2において、例えば、時分割に切り替えられる。すなわち、送信部2から出力される光A0は、第1の測定モードにおける周波数掃引された光信号と、第2の測定モードにおける2つの偏光が位相変調された光信号である。送信部2から出力された光A0は、分岐部3によって参照光A1と測定光A2に分岐される。参照光A1は、測定対象物100に照射されない光であり、測定光A2は、測定対象物100に照射される光である。

[0013] 分岐部3は、送信部2からのスイッチング信号に応じて光A0を分岐することにより、送信部2に第1の測定モードが設定されていると、光A0を参照光A1と測定光A2とに分岐する。また、分岐部3は、送信部2に第2の測定モードである場合、分岐による光の損失に起因した受信感度の低下を回避するために、光A0を、参照光A1に分岐させず、測定光A2のみに分岐させることが望ましい。

[0014] 照射部4は、レンズなどの光学部材を用いて、測定光A2を測定対象物100に照射する。照射部4から測定対象物100への測定光A2の入射角は、90度よりも小さいことが望ましい。第2の測定モードが設定された送信部2から出力された光A0には、p偏光とs偏光が含まれる。p偏光とs偏光との物性値の変化には角度依存性がある。例えば、測定対象物100が空気中のガラス材料である場合、光A0の入射角が56度であるときに、p偏光とs偏光との物性値が最も大きく変化する。この角度は、ブリュースター角と呼ばれ、測定対象物100と空気との反射率の差分に依存する。

[0015] 集光部5は、レンズなどの光学部材を用いて、測定対象物100で反射した測定光A2を集光して合波部6に出力する。合波部6は、分岐部3によっ

て光 A 0 から分岐した参照光 A 1 と集光部 5 から出力された測定光 A 2 を合波し、合波した光 A 3 を受信部 7 に出力する。光 A 3 は、参照光 A 1 と測定光 A 2 との差周波数の光信号である。

[0016] 受信部 7 は、集光部 5 を介して、合波部 6 によって合波された光 A 3 を受光し、受光した光 A 3 を電気信号に変換する。第 1 の測定モードにおいて、受信部 7 は、送信部 2 から出力された光 A 0 が分岐された参照光 A 1 と測定光 A 2 との差周波数に基づく、いわゆる波長走査干渉方式の光測定方法を用いて測定対象物 100 を測定する。第 2 の測定モードにおいて、受信部 7 は、光 A 3 を変換した電気信号を用いることで、p 偏光と s 偏光との位相差 Δ および振幅比 Ψ に基づいて測定対象物 100 を測定する。

[0017] 第 1 の測定モードにおいて、測定対象物 100 の厚み方向における測定分解能は、受信部 7 によって光 A 3 を変換した電気信号をフーリエ変換して得られる干渉光スペクトルのピークの半値半幅で表される。すなわち、測定分解能 l_{FWHM} は、下記式 (1) に示すように、光源が出射した光の波長掃引幅 $\Delta\lambda$ の逆数に比例する。下記式 (1) において、光源から照射される光の中心周波数が λ_0 である。

$$l_{FWHM} = (2 L n(2) / \pi) \times (\lambda_0^2 / \Delta\lambda) \quad \dots (1)$$

[0018] 例えば、光源から照射される光の中心周波数 λ_0 が 1060 (nm) であり、波長掃引幅 $\Delta\lambda$ が 200 (nm) である場合、上記式 (1) を用いることで、測定分解能 l_{FWHM} が 5 (μm) と算出される。このため、測定対象物 100 の厚みが 5 (μm) を下回ると、第 1 の測定モードによる測定対象物 100 の厚さの測定は困難になる。第 1 の測定モードの測定レンジは、下記式 (2) で表されるコヒーレンス長 l_c によって決定され、第 2 の測定モードより広い測定レンジである。下記式 (2) において、 $\delta\lambda$ は瞬時線幅である。

$$l_c = (2 L n(2) / \pi) \times (\lambda_0^2 / \delta\lambda) \quad \dots (2)$$

[0019] 第 2 の測定モードにおいて、受信部 7 は、光 A 3 に含まれる p 偏光と s 偏光との位相差 Δ および振幅比 Ψ に基づくエリプソメトリの原理を用いることで、測定対象物 100 の厚み方向の距離を測定する。エリプソメトリは、測

定対象物 100 への入射光と測定対象物 100 からの反射光との偏光状態の差分を測定し、測定した偏光状態の差分を示す情報に基づいて、測定対象物 100 の構造を解析する分析方法である。

[0020] 送信部 2 は、第 2 の測定モードにおいて、光源から出射された光から分離した p 偏光と s 偏光との位相差を、例えば、光弾性変調器 (PEM; Photo Elastic Modulator) を用いて高速で変調する。送信部 2 によって位相差が変調された光 A0 のうち、測定光 A2 は、測定対象物 100 に入射される。受信部 7 は、測定対象物 100 で反射した測定光 A2 を受光して電気信号に変換し、変換した電気信号をフーリエ変換と Muller 行列といった偏光を記述する方法を用いることにより、p 偏光と s 偏光との位相差 Δ および振幅比 Ψ を算出する。

[0021] 例えば、受信部 7 は、p 偏光と s 偏光との位相差 Δ および振幅比 Ψ を、フィッティングパラメータとして用いることで、測定対象物 100 の構造を推定することが可能である。ただし、エリプソメトリの実質的な測定レンジは、第 1 の測定モードより狭い範囲に限定されている。

[0022] 図 2 は、送信部 2 の構成例を示すブロック図である。送信部 2 は、図 2 に示すように、レーザ光源 21、掃引部 22、偏光子 23、位相変調部 24、および切り替え回路 25 を備える。レーザ光源 21 は、連続した波長のレーザ光を出射する光源である。掃引部 22 は、切り替え回路 25 から出力された切替信号 (図 2 において破線の矢印で示す) に対応して、レーザ光源 21 が照射した光の周波数を掃引し、周波数掃引した光を偏光子 23 に出力する。

[0023] 偏光子 23 は、測定対象物 100 に入射する光の偏光状態を一定の状態に設定するものであり、例えば、p 偏光および s 偏光を含む直線偏光に設定する。なお、偏光子 23 は、通過した光の偏光状態が保持されるのであれば、掃引部 22 の直前に配置されてもよい。

[0024] 位相変調部 24 は、p 偏光および s 偏光を含む直線偏光を入力し、切り替え回路 25 から出力された切替信号に対応して上記直線偏光に含まれている

p 偏光と s 偏光との位相差 Δ を変調する。p 偏光と s 偏光との位相差 Δ は、下記式 (3) で表される。下記式 (3) において、 δ_0 は、p 偏光と s 偏光との最大位相差である。位相変調部 24 は、時間 t に対して、周波数 ω で位相差 Δ を高速に変調する。

$$\Delta = \delta_0 \sin(\omega t) \quad \cdots (3)$$

[0025] 図 3 A は、時間に対する光の周波数掃引の概要を示すグラフである。例えば、図 3 A に示すように、掃引部 22 は、同一の時刻における周波数差が Δf になるように、レーザ光源 21 から出射されたレーザ光の周波数を時間に対して掃引し、周波数掃引したレーザ光を偏光子 23 へ出力する。周波数が異なる掃引光は、参照光 A1 が伝搬する経路と測定光 A2 が伝搬する経路との距離差分に比例した遅延時間に対応して生じる。

なお、波長は周波数の逆数に比例するので、レーザ光の周波数を掃引することにより、当該レーザ光の波長も掃引される。以下の説明では周波数掃引と波長掃引とが同義なものとする。

[0026] 図 3 B は、時間に対する 2 つの偏光の位相変調の概要を示すグラフである。例えば、図 3 B に示すように、位相変調部 24 は、偏光子 23 によって直線偏光に変換されたレーザ光に含まれる p 偏光 p_p と s 偏光 p_s との位相差を変調する。掃引部 22 および位相変調部 24 は、例えば、同一の LN (ニオブ酸リチウム) 光変調器によって実現される。この場合、LN 光変調器は、レーザ光の周波数掃引と 2 つの偏光の位相変調との両方を行う。

なお、単一波長のレーザ光に含まれる p 偏光 p_p および s 偏光 p_s の位相変調を示したが、光源が複数の波長の光を出射可能である場合、位相変調部 24 は、ステップ的に複数の波長の光のそれぞれに含まれる p 偏光 p_p および s 偏光 p_s を位相変調してもよい。

[0027] 図 4 は、送信部 2 における周波数掃引と 2 つの偏光の位相変調との時分割処理の概要を示すグラフである。切り替え回路 25 は、切替信号を掃引部 22 および位相変調部 24 へ出力することにより、掃引部 22 による周波数掃引と位相変調部 24 による位相変調とを時分割に切り替える。図 4 において

は、時間区間（１）から時間区間（４）へ時間が経過し、時間区間（１）および（３）において、掃引部２２によってレーザ光の周波数の掃引が行われ、時間区間（２）および（４）において、位相変調部２４によってｐ偏光 p_p とｓ偏光 p_s との位相差の位相変調が行われる。

[0028] 既存の波長掃引光源の掃引周期に基づくと、切り替え回路２５は、例えば、 $k\text{ Hz}$ から $M\text{ Hz}$ のオーダーで周波数掃引と位相変調との時分割な切り替えが可能である。これは、測定対象物１００の特性が秒オーダーで変化する場合であっても、特性の変化前に測定が行える時間分解能を有していることを意味する。

[0029] LN 光変調器は、電気光学効果を用いて導波路の屈折率を電気によって変調するものである。このため、 LN 光変調器で実現される掃引部２２および位相変調部２４は、 $G\text{ Hz}$ オーダーの高速な位相変調が可能である。また、 LN 光変調器は、光源から照射された光を２つの偏光に分岐し、分岐したそれぞれの光の位相を変調することが可能である。さらに、 LN 光変調器は、電気光学効果を用いて、光源から照射された光の波長を時間に対して線形に変化させる波長掃引も可能である。

[0030] 図５は、測定対象物１００の一例を示す斜視図である。測定対象物１００は、例えば、半導体のシリコンウェハであり、光測定装置１は、シリコンウェハの厚み d を測定する。光測定装置１は、測定対象物１００において測定光 A_2 が伝搬した距離と測定対象物１００の屈折率との積である光路長を測定する。このため、測定光 A_2 が伝搬した距離が既知であれば、屈折率の測定も可能である。また、光測定装置１は、吸収ガス濃度に起因した測定対象物１００の屈折率の変化も測定することができる。さらに、光測定装置１は、既存のエリプソメトリ装置と同様に、ラフネス層の構造の解析と電気二重層の構造の解析に利用可能である。

[0031] 図６は、受信部７の構成例を示すブロック図である。受信部７は、図６に示すように、検光子７１、受光部７２、 AD 変換部７３、スイッチ７４、 FFT 処理部７５、第１の測定部７６、 $\Delta\Psi$ 算出部７７および第２の測定部７

8を備える。検光子71は、合波部6によって合波された光A3のうち、特定の位相状態の光のみを透過させる光学素子である。受光部72は、検光子71を透過した光を受光して電気信号に変換する。例えば、受光部72はフォトディテクタである。AD変換部73は、受光部72から出力されるアナログの電気信号を一定周期でサンプリングすることにより、デジタル信号に変換する。

[0032] スイッチ74は、切り替え回路25から出力された切替信号に対応して、AD変換部73から出力された信号の出力先を、FFT処理部75または $\Delta\Psi$ 算出部77のいずれかに切り替える。例えば、切替信号が第1の測定モードを示している場合、スイッチ74は、AD変換部73から出力された信号の出力先をFFT処理部75に切り替える。切替信号が第2の測定モードを示している場合、スイッチ74は、AD変換部73から出力された信号の出力先を $\Delta\Psi$ 算出部77に切り替える。なお、図6において、切替信号は、受信部7の外部からスイッチ74につながる破線の矢印で示している。

[0033] FFT処理部75は、AD変換部73から出力された信号に対して高速フーリエ変換（FFT）を施すことにより干渉光スペクトルを算出する。参照光A1と測定光A2との差周波数成分は、参照光A1と測定光A2とを合波することで生じる。分岐部3によって分岐された光の経路のうち、一方の経路を測定光A2が伝搬し、当該経路を伝搬した測定光A2が測定対象物100で反射するので、参照光A1と測定光A2との差周波数成分は測定対象物100までの距離に比例する。

[0034] 第1の測定部76は、FFT処理部75によって算出された干渉光スペクトルを用い、参照光A1と測定光A2との差周波数成分に基づいて、測定対象物100を測定する。

図7Aは、参照光A1と測定光A2との差周波数成分をFFTして得られる干渉光スペクトルを示すグラフである。測定対象物100が透明体である場合、測定対象物100に照射された測定光A2は、測定対象物100において、測定光A2が直接照射される上面と、測定光A2が測定対象物100

の内部を伝搬して到達した下面の二箇所を得られる。

[0035] 図7Aにおいて、干渉光スペクトルのピークは、測定対象物100の上面に対応する距離 $DP1$ と測定対象物100の下面に対応する距離 $DP2$ とに生じる。距離 $DP1$ と距離 $DP2$ との差分は、測定対象物100の上面と下面との間の距離に対応する。すなわち、測定対象物100の上面と下面との距離は光学厚み nd である。 n は測定対象物100の屈折率であり、 d は測定対象物100の厚みである。例えば、第1の測定部76は、干渉光スペクトルを用いて、ピーク間の距離である光学厚み nd を算出し、光学厚み nd と測定対象物100の既知の屈折率 n とを用いて、測定対象物100の厚み d を算出する。

[0036] $\Delta\Psi$ 算出部77は、AD変換部73から出力されたデジタル信号を用いて、 p 偏光と s 偏光との位相差 Δ および振幅比 Ψ を算出する。例えば、測定対象物100が透明体である場合、 $\Delta\Psi$ 算出部77は、AD変換部73から出力された信号を用いて、測定対象物100の上面からの反射光の偏光密度と測定対象物100の下面からの反射光の偏光密度との比を算出する。そして、 $\Delta\Psi$ 算出部77は、偏光密度の比の実数部である位相差 Δ を算出し、偏光密度の比の虚数部である振幅比 Ψ を算出する。

[0037] 第2の測定部78は、 $\Delta\Psi$ 算出部77によって算出された p 偏光と s 偏光との位相差 Δ および振幅比 Ψ に基づいて、測定対象物を算出する。 p 偏光と s 偏光との位相差 Δ および振幅比 Ψ は、測定対象物100における特定の膜厚ごとに不確実性を有する。特定の膜厚は、膜厚周期と呼ばれる。

[0038] 図7Bは、測定光A2に含まれる p 偏光および s 偏光の位相差 Δ と振幅比 Ψ との関係を示すグラフである。測定対象物100の光学厚み nd に対して決定された位相差 Δ および振幅比 Ψ は、図7Bに示すように、膜厚周期ごとに同じ点で重なる閉曲線を描く。第2の測定部78は、位相差 Δ と振幅比 Ψ とが同じ点で重なる膜厚周期に基づいて、測定対象物100の厚み d を算出する。つまり、位相差 Δ と振幅比 Ψ は、ある厚み $d + N \times \text{膜厚周期}$ （ N は整数）に依存するため、閉曲線上のある一点が厚みに対応する。ただし、膜厚

周期ごとの不確実性を持つ。

[0039] 図8は、実施の形態1に係る光測定方法を示すフローチャートである。

送信部2は、第1の測定モードにおいて、レーザ光源21から出射された光の周波数を掃引して出力し、第2の測定モードにおいて、レーザ光源21から出射された光に含まれるp偏光とs偏光との位相差 Δ を変調して出力する（ステップST1）。

分岐部3は、送信部2から出力された光A0を、測定対象物100に照射されない参照光A1と測定対象物100に照射される測定光A2とに分岐する（ステップST2）。

合波部6は、参照光A1と測定対象物100に照射されて反射した測定光A2とを合波する（ステップST3）。

受信部7は、合波部6によって合波された光A3を受光して電気信号に変換し、変換した電気信号を用いて、第1の測定モードにおいて、参照光A1と測定光A2との差周波数に基づいて測定対象物100を測定し、第2の測定モードにおいて、p偏光とs偏光との位相差 Δ および振幅比 Ψ に基づいて測定対象物100を測定する（ステップST4）。

[0040] 図9は、送信部2における周波数掃引と、p偏光とs偏光との位相変調との同時処理の概要を示すグラフである。送信部2は、第1の測定モードと第2の測定モードを切り替えず、第1の測定モードと第2の測定モードとが同時に設定されてもよい。この場合、図9に示すように、掃引部22による周波数掃引と位相変調部24によるp偏光およびs偏光の位相変調とが同時に実行される。また、送信部2は、切り替え回路25を備えていなくてもよく、受信部7は、スイッチ74を備えていなくてもよい。

[0041] 以上のように、実施の形態1に係る光測定装置1は、送信部2が、第1の測定モードにおいて、レーザ光源21から出射された光の周波数を掃引して出力し、第2の測定モードにおいて、レーザ光源21から出射された光に含まれるp偏光とs偏光との位相差を変調して出力し、分岐部3が、送信部2から出力された光を、測定対象物100に照射されない参照光A1と測定対

象物 100 に照射される測定光 A2 とに分岐し、合波部 6 が、参照光 A1 と測定対象物 100 に照射されて反射した測定光 A2 とを合波し、受信部 7 が、合波部 6 によって合波された光 A3 を受光して電気信号に変換し、変換した電気信号を用いて、第 1 の測定モードにおいて、参照光 A1 と測定光 A2 との差周波数に基づいて測定対象物 100 を測定し、第 2 の測定モードにおいて、p 偏光と s 偏光との位相差 Δ および振幅比 Ψ に基づいて測定対象物 100 を測定する。

光の周波数掃引、すなわち波長掃引を行う第 1 の測定モードと、波長掃引を行わずに、第 1 の測定モードの測定よりも高い測定分解能が得られる第 2 の測定モードとを実施するので、光測定装置 1 は、レーザ光源 21 が出射した光の波長掃引幅を拡大することなく、測定分解能を高めることができる。

[0042] 実施の形態 1 に係る光測定装置 1 において、送信部 2 は、第 1 の測定モードと第 2 の測定モードとを時分割で切り替える。光測定装置 1 は、第 1 の測定モードによる測定と第 2 の測定モードによる測定を、同一の光学系を用いて時分割に実施する。これにより、広い測定レンジおよび高い測定分解能で測定対象物 100 の同一箇所を時分割に測定することが可能である。

[0043] 実施の形態 1 に係る光測定装置 1 において、送信部 2 は、第 1 の測定モードと第 2 の測定モードとを同時に設定し、レーザ光源 21 から出射された光の周波数の掃引と、p 偏光と s 偏光との位相差の変調とを並行して行う。光測定装置 1 は、第 1 の測定モードによる測定と第 2 の測定モードによる測定とを、同一の光学系を用いて同時に実施する。これにより、広い測定レンジおよび高い測定分解能で測定対象物 100 の同一箇所を同時に測定することが可能である。

[0044] 実施の形態 1 に係る光測定装置 1 において、分岐部 3 は、第 2 の測定モードにおいて、送信部 2 から出力された光 A0 を、測定光 A2 のみに分岐させて参照光 A1 へ分岐させない。測定対象物 100 に照射されない参照光 A1 への分岐による受信感度の低下が回避されるので、第 2 の測定モードにおける測定の精度が高められる。

[0045] なお、実施の形態の任意の構成要素の変形もしくは実施の形態の任意の構成要素の省略が可能である。

産業上の利用可能性

[0046] 本開示に係る光測定装置は、例えば、半導体であるシリコンウェハの厚みの測定に利用可能である。

符号の説明

[0047] 1 光測定装置、2 送信部、3 分岐部、4 照射部、5 集光部、6 合波部、7 受信部、21 レーザ光源、22 掃引部、23 偏光子、24 位相変調部、25 切り替え回路、71 検光子、72 受光部、73 AD変換部、74 スイッチ、75 FFT処理部、76 第1の測定部、77 $\Delta\psi$ 算出部、78 第2の測定部、100 測定対象物。

請求の範囲

- [請求項1] 第1の測定モードにおいて、光源から出射された光の周波数を掃引して出力し、第2の測定モードにおいて、前記光源から出射された光に含まれる2つの偏光の位相差を変調して出力する送信部と、
前記送信部から出力された光を、測定対象物に照射されない参照光と、前記測定対象物に照射される測定光とに分岐する分岐部と、
前記参照光と前記測定対象物に照射されて反射した前記測定光とを合波する合波部と、
前記合波部によって合波された光を受光して電気信号に変換し、変換した前記電気信号を用いて、前記第1の測定モードにおいて、前記参照光と前記測定光との差周波数に基づいて前記測定対象物を測定し、前記第2の測定モードにおいて、前記2つの偏光の位相差および振幅比に基づいて前記測定対象物を測定する受信部と、
を備えたことを特徴とする光測定装置。
- [請求項2] 前記送信部は、前記第1の測定モードと前記第2の測定モードとを時分割で切り替えること
を特徴とする請求項1に記載の光測定装置。
- [請求項3] 前記送信部は、前記第1の測定モードと前記第2の測定モードとを同時に設定し、前記光源から出射された光の周波数の掃引と前記2つの偏光の位相差の変調とを並行して行うこと
を特徴する請求項1に記載の光測定装置。
- [請求項4] 前記分岐部は、前記第2の測定モードにおいて、前記送信部から出力された光を、前記測定光のみに分岐させて前記参照光へ分岐させないこと
を特徴とする請求項1に記載の光測定装置。
- [請求項5] 送信部が、第1の測定モードにおいて、光源から出射された光の周波数を掃引して出力し、第2の測定モードにおいて、前記光源から出射された光に含まれる2つの偏光の位相差を変調して出力するステッ

プと、

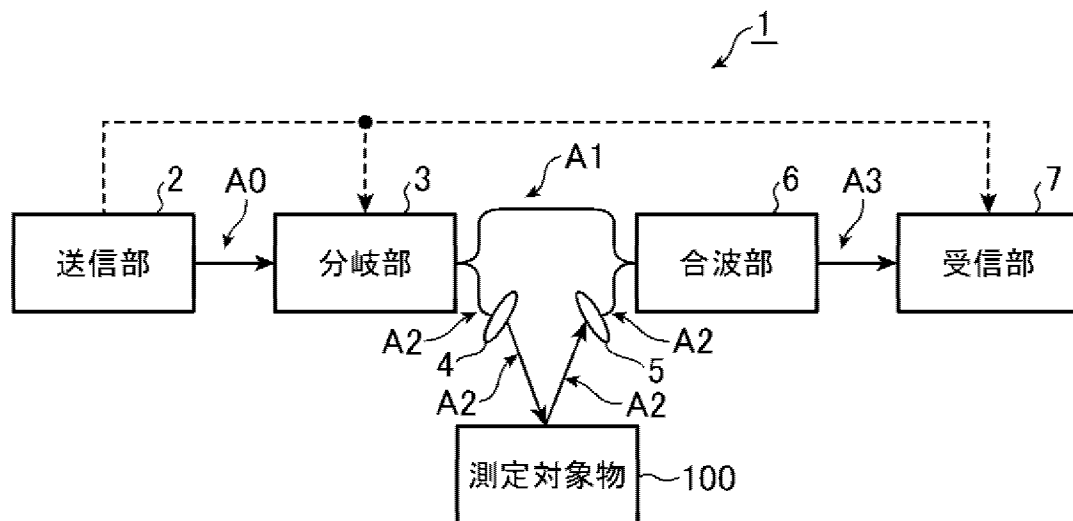
分岐部が、前記送信部から出力された光を、測定対象物に照射されない参照光と、前記測定対象物に照射される測定光とに分岐するステップと、

合波部が、前記参照光と前記測定対象物に照射されて反射した前記測定光とを合波するステップと、

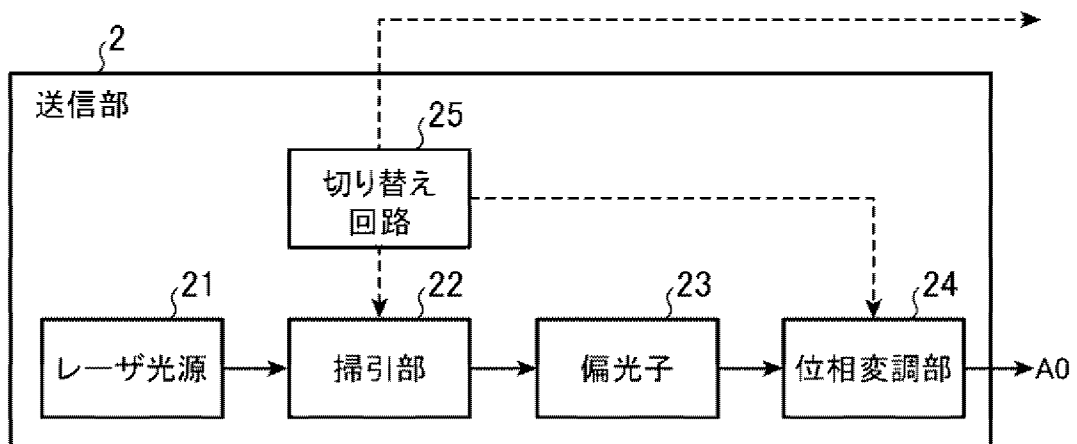
受信部が、前記合波部によって合波された光を受光して電気信号に変換し、変換した前記電気信号を用いて、前記第1の測定モードにおいて、前記参照光と前記測定光との差周波数に基づいて前記測定対象物を測定し、前記第2の測定モードにおいて、前記2つの偏光の位相差および振幅比に基づいて前記測定対象物を測定するステップと、

を備えたことを特徴とする光測定方法。

[図1]



[図2]



[図3]

図3A

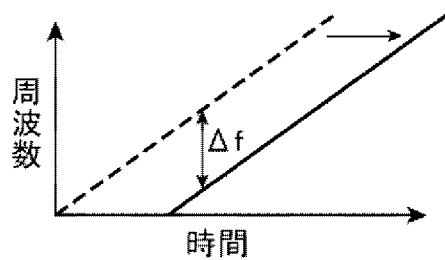
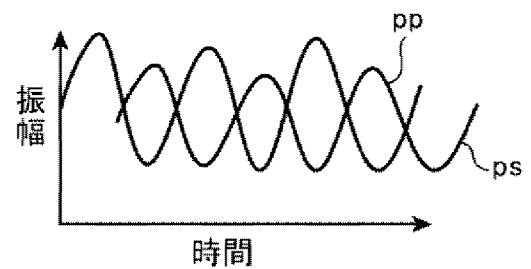
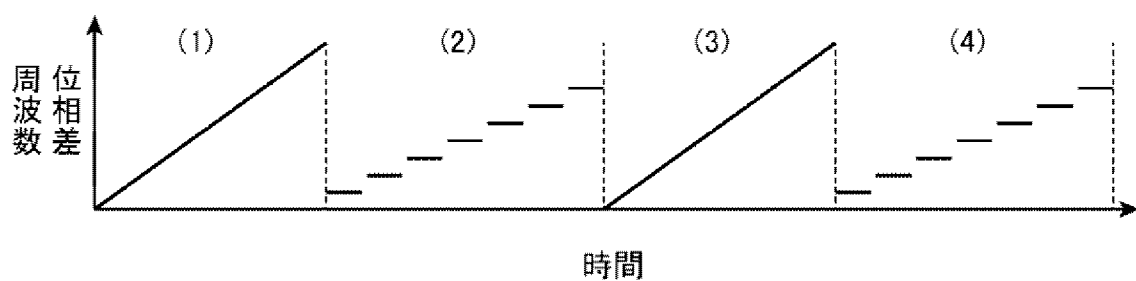


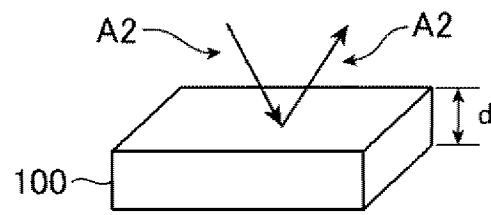
図3B



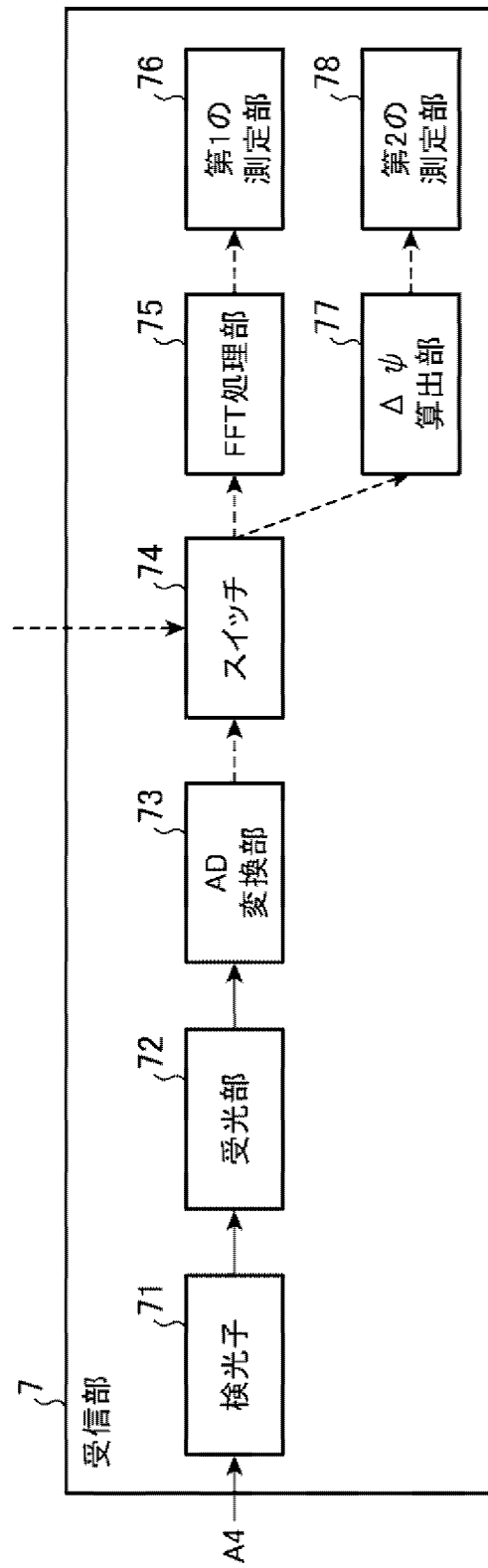
[図4]



[図5]



[図6]



[図7]

図7A

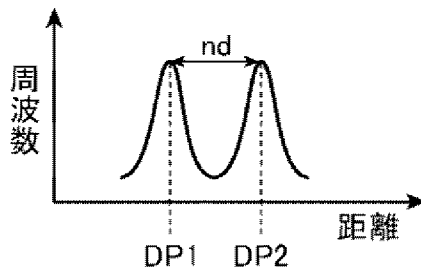
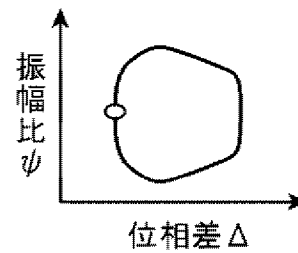
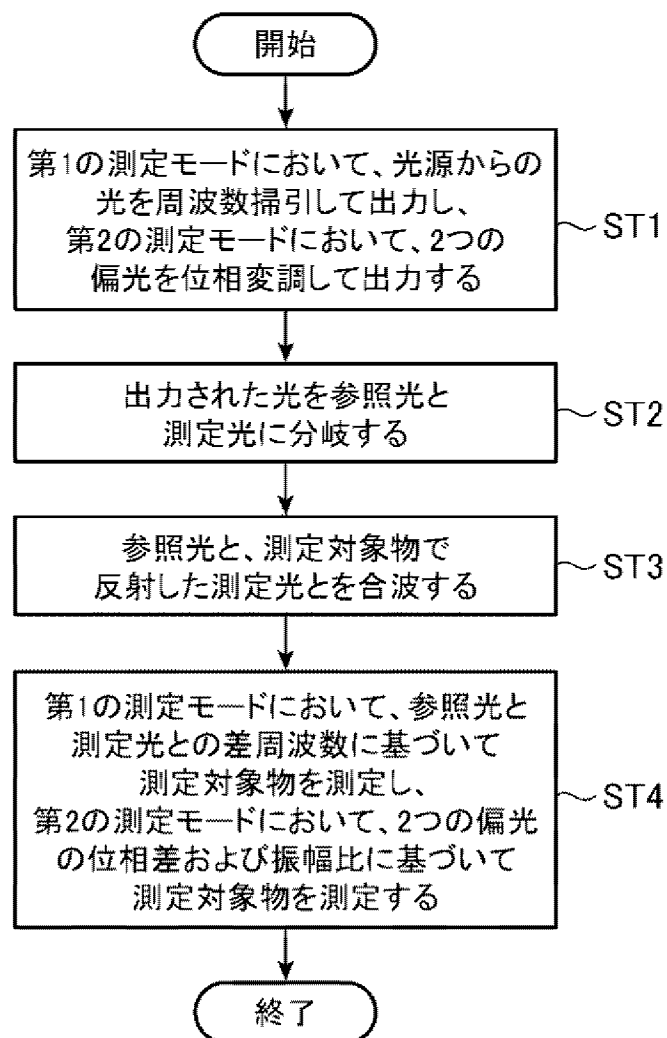


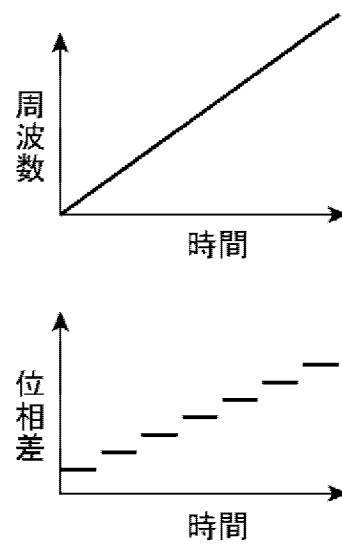
図7B



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/047258

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B 11/06 (2006.01) i

FI: G01B11/06G

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)

G01B11/06

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	1971-2021
Registered utility model specifications of Japan	1996-2021
Published registered utility model applications of Japan	1994-2021

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2016-128780 A (HORIBA, LTD.) 14 July 2016 (2016-07-14) entire text all drawings	1-5
A	JP 2018-84434 A (TOKYO SEIMITSU CO., LTD.) 31 May 2018 (2018-05-31) entire text all drawings	1-5
A	JP 2008-224394 A (ANRITSU CORP.) 25 September 2008 (2008-09-25) entire text all drawings	1-5
A	JP 2002-93094 A (HITACHI ELECTRONICS ENGINEERING CO., LTD.) 29 March 2002 (2002-03-29) entire text all drawings	1-5
A	US 2017/0276471 A1 (THORLABS, INC.) 28 September 2017 (2017-09-28) whole document	1-5



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

"I" 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

01 March 2021 (01.03.2021)

Date of mailing of the international search report

16 March 2021 (16.03.2021)

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office

3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,

Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/047258

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2014-531023 A (KLA-TENCOR CORPORATION) 20 November 2014 (2014-11-20) entire text all drawings	1-5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/047258

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2016-128780 A	14 Jul. 2016	(Family: none)	
JP 2018-84434 A	31 May 2018	(Family: none)	
JP 2008-224394 A	25 Sep. 2008	(Family: none)	
JP 2002-93094 A	29 Mar. 2002	(Family: none)	
US 2017/0276471 A1	28 Sep. 2017	WO 2017/165793 A1 whole document EP 3432783 A1 CN 109310328 A	
JP 2014-531023 A	20 Nov. 2014	US 2013/0169966 A1 whole document WO 2013/055906 A1 EP 2766693 A TW 201321729 A CN 103930749 A KR 10-2014-0075002 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01B 11/06(2006.01)i FI: G01B11/06 G														
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）） G01B11/06 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2021年</td> </tr> </table> 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）			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2021年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2021年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2021年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2021年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2021年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2021年													
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	JP 2016-128780 A（株式会社堀場製作所）14.07.2016（2016 - 07 - 14） 全文全図	1-5												
A	JP 2018-84434 A（株式会社東京精密）31.05.2018（2018 - 05 - 31） 全文全図	1-5												
A	JP 2008-224394 A（アンリツ株式会社）25.09.2008（2008 - 09 - 25） 全文全図	1-5												
A	JP 2002-93094 A（日立電子エンジニアリング株式会社）29.03.2002（2002 - 03 - 29） 全文全図	1-5												
A	US 2017/0276471 A1（THORLABS, INC.）28.09.2017（2017 - 09 - 28） WHOLE DOCUMENT	1-5												
A	JP 2014-531023 A（ケーエルエーテンカー コーポレーション）20.11.2014 （2014 - 11 - 20） 全文全図	1-5												
☐ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 引用文献のカテゴリー	“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													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 01.03.2021	国際調査報告の発送日 16.03.2021													
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） 櫻井 仁 2S 9008 電話番号 03-3581-1101 内線 3216													

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/JP2020/047258

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2016-128780	A	14.07.2016	(ファミリーなし)	
JP	2018-84434	A	31.05.2018	(ファミリーなし)	
JP	2008-224394	A	25.09.2008	(ファミリーなし)	
JP	2002-93094	A	29.03.2002	(ファミリーなし)	
US	2017/0276471	A1	28.09.2017	WO 2017/165793	A1
				WHOLE DOCUMENT	
				EP 3432783	A1
				CN 109310328	A
JP	2014-531023	A	20.11.2014	US 2013/0169966	A1
				WHOLE DOCUMENT	
				WO 2013/055906	A1
				EP 2766693	A
				TW 201321729	A
				CN 103930749	A
				KR 10-2014-0075002	A