

(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
2021年10月7日(07.10.2021)



(10) 国際公開番号

WO 2021/199397 A1

(51) 国際特許分類:

G01N 21/956 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2020/015161

(22) 国際出願日: 2020年4月2日(02.04.2020)

(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: 株式会社日立ハイテク
(HITACHI HIGH-TECH CORPORATION) [JP/
JP]; 〒1056409 東京都港区虎ノ門一丁目
1 7 番 1 号 Tokyo (JP).

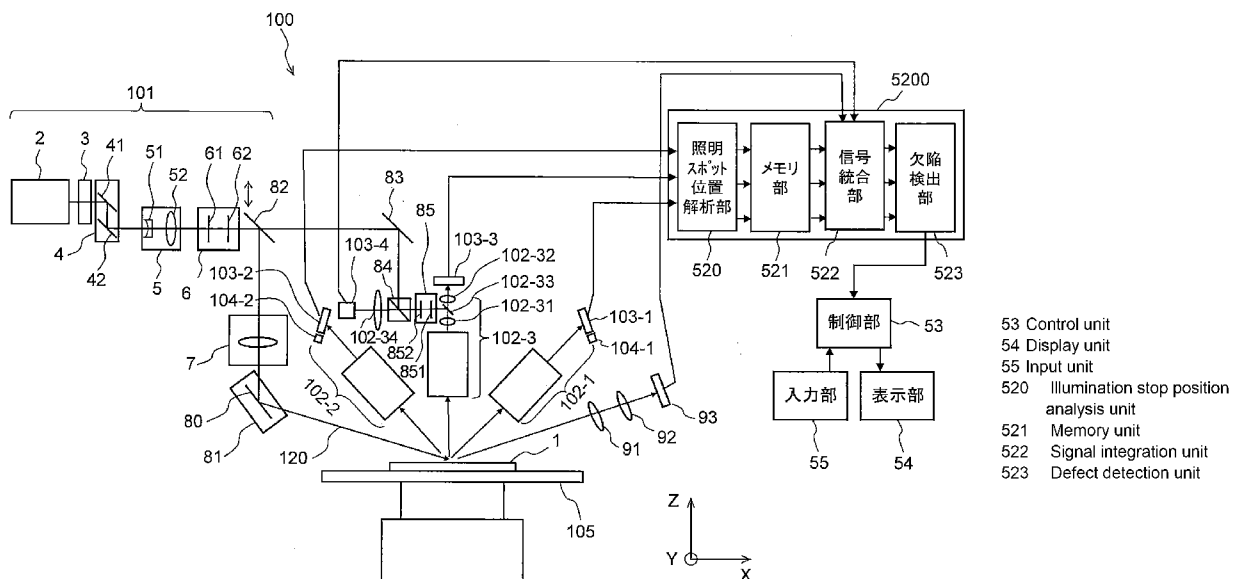
(72) 発明者: 本田 敏文 (HONDA Toshifumi);
〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番
6 号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 浦

野 雄太(URANO Yuta); 〒1008280 東京都千代
田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立
製作所内 Tokyo (JP). 有馬 英司(ARIMA Eiji);
〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番
6 号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 山
川 大路(YAMAKAWA Hiromichi); 〒1008280
東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株
式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 松本 俊一
(MATSUMOTO Shunichi); 〒1056409 東京都港
区虎ノ門一丁目 1 7 番 1 号 株式会社日立ハイ
テク内 Tokyo (JP). 金井 久亮(KANAI Hisaaki);
〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番
6 号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人磯野国際特許商
標事務所 (ISONO INTERNATIONAL PATENT

(54) Title: DEFECT INSPECTION APPARATUS AND DEFECT INSPECTION METHOD

(54) 発明の名称: 欠陥検査装置および欠陥検査方法



(57) Abstract: This defect inspection apparatus (100) comprises: an illumination unit (101) that irradiates the upper surface of a sample (1) with a linear illumination spot; a condensing detection unit (102) which includes a telecentric optical system, condenses reflected light of the illumination spot from the surface of the sample (1), controls a polarization state of incident light, and forms an optical image; and a sensor unit (103) that outputs, as an electric signal, the optical image of the illumination spot through the condensing detection unit (102) and includes a light reception unit and a reflection prevention film at a position conjugated with the illumination spot with which the surface of the sample (1) is irradiated, wherein the condensing detection unit (102) includes a polarization control unit that increases the efficiency of light incident onto the light reception unit of the sensor unit. The normal of a light receiving surface of the sensor unit (103) is tilted by at least

OFFICE, P.C.); 〒1050001 東京都港区虎ノ
門一丁目1番18号 ヒューリック
虎ノ門ビル 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, 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, 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))

10 degrees and at most 80 degrees from the optical axis of the condensing detection unit (102). The condensing detection unit (102) increases the optical magnification of the illumination spot in the lateral direction to reduce the variation in the incident angle towards the sensor unit (103) in the lateral direction with respect to the longitudinal direction of the illumination spot.

(57) 要約: 欠陥検査装置(100)は、試料(1)上面に線状の照明スポットを照射する照明部(101)と、テレセントリック光学系で構成され、この試料(1)表面からの照明スポットの反射光を集光して入射した光の偏光状態を制御して光学像を形成する集光検出部(102)と、集光検出部(102)による照明スポットの光学像を電気信号として出力し、試料(1)表面に照射された照明スポットと共役の位置にアレイ状の受光部と反射防止膜とを備えるセンサ部(103)とを備え、集光検出部(102)はセンサ部受光部への光入射効率を高くする偏光制御部を備える。センサ部(103)の受光面の法線は、集光検出部(102)の光軸から10度以上かつ80度未満だけ傾いている。集光検出部(102)は、照明スポットの短手方向の光学倍率をあげて、照明スポットの長手方向に対して、センサ部(103)への短手方向の入射角度ばらつきを小さくする。

明 細 書

発明の名称：欠陥検査装置および欠陥検査方法

技術分野

[0001] 本発明は試料表面に存在する微小な欠陥を検査し、欠陥の位置、種類および寸法を判定して出力する欠陥検査装置および欠陥検査方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体基板や薄膜基板等の製造ラインにおいて、製品の歩留りを維持・向上するために、半導体基板や薄膜基板等の表面に存在する欠陥の検査が行われている。半導体等の製造工程で用いられる欠陥検査には、微小な欠陥を検出することが求められる。光学的にこの微小な欠陥を検出するには、欠陥に対して大光量の照明を照射し、欠陥から発生する散乱光をできるだけ多く集光して結像し、欠陥を検出することが求められる。欠陥検査の従来技術としては、例えば特許文献1に記載されている技術が知られている。

[0003] 特許文献1では、微小な欠陥からの少ない光子を正確に検出するために試料面に対して傾けて複数配置し、それぞれの検出系で試料面に照射した線状照明の像をセンサ位置に結像して欠陥判定を行っている。欠陥からの反射光をすべて検出できるように光学系を配置すると、検出部と試料面の線状照明部との間の作動距離が視野内で変化する。このとき、焦点ずれを引き起こし、センサ面で結像される像の解像度が低下する。これを抑制するために、特許文献1には、被検査対象基板Wの法線方向に対して傾斜していない検出光学系部2000と比較し、より高次の回折光を検出しないため、斜方検出系2001の光軸を水平から β 傾けることが記載されている（段落0054）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2007-033433号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかし、この特許文献1の方式では、センサが検出する光量が低下し、高感度な検査を実現できない課題があった。特に、センサに入射する光の波長が短い場合には、典型的なセンサに用いられるシリコンにおいて、消衰係数が大きく、反射率が高くなるため、センサの受光部内の光の吸収が困難になる。

[0006] センサは、表面での反射を抑制するため、この表面に反射防止膜を形成することは一般に知られている。しかし、一般的なセンサ表面の法線方向から光が入射する場合と異なり、光が斜め方向から入射する場合には、入射する光の偏光特性により、センサ表面での光の反射率が変化する。

[0007] これは、センサ受光部に吸収させる光を最大化する反射防止膜の膜厚が、偏光方向によって変化するためである。この現象を抑制するには、センサ表面への光の入射角度をなるべくセンサの法線方向に近づけることが必要である。これは、結像倍率を小さく、典型的には1以下にすることによって実現できる。

[0008] しかし、この手法を用いた場合には、主光線の入射角は法線に近づくものの、センサに入射する光の入射角度のばらつきは大きくなり、反射防止膜の膜厚の最適化は困難になる。またセンサの分解能は、画素サイズと光学倍率の積によって定まるため、この分解能が低下してしまい、微小な欠陥の検出は困難になる。

また、特許文献1の方式では、スリットビームの短軸と直交する方向に対する方位 θ が0, 90, 180, 270度以外から検出する場合に、スリットビームの長軸、短軸、双方が共役になる、すなわち、試料面とセンサ面が共役になるようにセンサを傾ける方式が開示されている。この方式において、試料の法線方向に対して直角に近い角度で放出される反射光を検出する場合、センサには、センサ法線方向から直角近い角度で光が入射する。よって、センサ受光部に光を高い効率で吸収させる反射防止膜が設定できないという課題があった。

[0009] そこで、本発明は、上記した従来技術の課題を解決し、試料面の線状照明部と検出部との作動距離が一定でない条件の検査装置において、高解像な結像検出を行うことで微小な欠陥の高感度検出を実現する欠陥検査装置および欠陥検査方法を提供する。

課題を解決するための手段

[0010] 前記した課題を解決するため、本発明の欠陥検査装置は、試料表面に線状の照明スポットを照射する照明光学系と、前記試料表面を移動させて、前記線状の照明スポットを前記照明スポットの短手方向に走査する照明スポット走査手段と、前記試料表面からの前記照明スポットの反射光を集光して入射した光の偏光状態を制御して光学像を形成する集光検出部と、前記集光検出部による前記照明スポットの光学像を電気信号として出力し、前記試料表面に照射された前記照明スポットと共役の位置にアレイ状の受光部と反射防止膜とを備えるセンサ部と、を備える欠陥検査装置であって、前記集光検出部の光軸と前記試料に照射した前記線状の照明スポットの長手方向の成す第1角度は10度以上かつ80度未満であり、前記集光検出部は、前記センサ部の受光部の検出光量を大きくする方向の直線偏光を前記センサ部に出力する偏光制御部を備える、ことを特徴とする。

[0011] 本発明の欠陥検査装置は、試料表面に線状の照明スポットを照射する照明光学系と、前記試料表面を移動させて、前記線状の照明スポットを前記照明スポットの短手方向に走査する照明スポット走査手段と、前記試料表面からの前記照明スポットの反射光を集光して入射した光の偏光状態を制御して光学像を形成する集光検出部と、前記集光検出部による前記照明スポットの光学像を電気信号として出力し、前記試料表面に照射された前記照明スポットと共役の位置にアレイ状の受光部と反射防止膜とを備える第1、第2のセンサ部と、を備える欠陥検査装置であって、前記集光検出部の光軸と前記試料に照射した前記線状の照明スポットの長手方向の成す第1角度は10度以上かつ80度未満であり、前記集光検出部は、前記集光検出部に入射される反射光を第1の偏光成分の光と第2の偏光成分の光とに分岐させて、夫々第1

の光路と第2の光路に導く偏光分離ユニットと、前記第1の光路に導かれた光の偏光方向を変換して前記第1のセンサ部に導く第1の偏光方向変換ユニットと、前記第2の光路に導かれた光の偏光方向を変換して前記第2のセンサ部に導く第2の偏光方向変換ユニットと、を含む、ことを特徴とする。

[0012] 本発明の欠陥検査方法は、照明光学系が、試料表面に線状の照明スポットを照射するステップと、照明スポット走査手段が、前記試料を駆動して、前記線状の照明スポットを、前記照明スポットの短手方向に走査するステップと、前記試料に照射した前記線状の照明スポットの長手方向との成す第1角度が10度以上かつ80度未満の光軸を有する集光検出部が、前記照明スポットの反射光を集光して、所定方向の直線偏光を出力するステップと、前記試料表面に照射された前記照明スポットと共役の位置にアレイ状の受光部を備え、前記所定方向の直線偏光の吸収率が高い反射防止膜が形成されているセンサ部が、前記照明スポットの光学像を電気信号として出力するステップと、を実行することを特徴とする。

その他の手段については、発明を実施するための形態のなかで説明する。

発明の効果

[0013] 本発明によれば、試料面の線状照明部と検出部との作動距離が一定でない条件の検査装置において、高解像な結像検出を行うことで微小な欠陥の高感度検出が可能となる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]本発明の第1の実施形態に係る欠陥検査装置の一実施形態を示す全体概略構成を示すブロック図である。

[図2A]光学系の配置を示す図である。

[図2B]光学系の配置を示す図である。

[図3]欠陥検査装置の一実施形態を示す図で、アッテネータの内部構成を示すブロック図である。

[図4]斜入射照明の入射面の断面図を示している。

[図5]試料表面の法線を含み、かつ、斜入射照明の入射面に垂直な面の断面図

を示している。

[図6]試料上に照明スポットが投影された状態を示す試料の平面図である。

[図7]らせん状の走査による照明スポットの軌跡を示す第一の例を示すウェハの平面図である。

[図8]併進走査による照明スポットの軌跡を示す第二の例を示すウェハの平面図である。

[図9A]検出光学系の構成を線状照明の照明長手方向の断面から見たブロック図である。

[図9B]検出光学系の構成を線状照明の照明長手方向の断面から示すブロック図である。

[図9C]試料面における各種ベクトルを示す図である。

[図9D]センサ部の受光面における各種ベクトルを示す図である。

[図9E]検出光学系の構成を線状照明の照明長手方向の断面から示すブロック図である。

[図10]センサ部の断面ブロック図である。

[図11]4層薄膜から構成される一般的な反射防止膜をシリコン基板に形成した場合の、シリコン基板の光の吸収率を示すグラフである。

[図12A]本発明の第1の実施形態に係る反射防止膜をシリコン基板に形成した場合の、シリコン基板の光の吸収率を示すグラフである。

[図12B]本発明の第1の実施形態の変形例に係る反射防止膜をシリコン基板に形成した場合の、シリコン基板の光の吸収率を示すグラフである。

[図12C]本発明の第1の実施形態の変形例に係る反射防止膜をシリコン基板に形成した場合の、シリコン基板の光の吸収率を示すグラフである。

[図12D]本発明の第2の実施形態に係る反射防止膜をシリコン基板に形成した場合の、シリコン基板の光の吸収率を示すグラフである。

[図12E]本発明の第3の実施形態に係る反射防止膜をシリコン基板に形成した場合の、シリコン基板の光の吸収率を示すグラフである。

[図13]本発明の第4の実施形態に係るセンサ部入射側に配置したシリンドリ

カルレンズアレイを含む撮像センサのブロック図である。

[図14]本発明の第1の実施形態に係る試料のZ方向のずれによるセンサ面での位置のずれを説明する検出光学系のブロック図である。

[図15]信号処理部の概略の構成を示すブロック図である。

[図16A]検出光学系の構成を線状照明の照明長手方向の断面から見たブロック図である。

[図16B]検出光学系の構成を線状照明の照明長手方向の断面から見たブロック図である。

[図17]センサ部における光学像の或る結像状態を示す図である。

[図18]センサ部における光学像の他の結像状態を示す図である。

[図19]TDIセンサの画像処理ブロックの構成と動作を示す図である。

発明を実施するための形態

[0015] 本発明は、欠陥検査装置を、被検査試料を保持する試料保持部と、この試料保持部で保持された試料に対して所定波長の光を照射する照明光学系と、光電変換部を備えて光が照射された試料からの反射光を集光して光電変換部へ導く検出光学系と、反射光を検出した光電変換部の出力信号を処理して試料上の異物または欠陥の位置情報を抽出するデータ処理部で構成し、このデータ処理部は、被検査試料の反射光に基づき、照明スポットの光軸のずれ、あるいは被検査試料の高さ方向の変位による光電変換面での検出像のずれ、あるいは検出タイミングのずれを求め、光電変換部間の信号強度、あるいは異なるタイミングで取得した信号間のタイミングずれを補正した信号に基づいて欠陥を検出する構成とし、光電変換部間の信号、あるいは異なるタイミングで取得した信号間の位置ずれを補正した信号に基づいて欠陥を検出することにより、高速、高感度、かつ良好な座標精度をもつ検査を実現するようにしたものである。

[0016] 以下、本発明の実施の形態を、図を用いて説明する。なお、本発明は以下に説明する実施形態に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。以下で説明する実施形態は、本発明を分かり易く説明するために詳細に説明

するものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施形態の構成の一部を他の実施形態に置き換えることが可能であり、また、ある実施形態の構成に他の実施形態を加えることも可能である。また各実施形態の構成の一部について、他の構成の追加、削除、置換をすることが可能である。

[0017] 以下の実施形態では、本発明を、半導体等の製造工程で実行する欠陥検査に用いられる検査装置に適用する場合について説明する。本発明に係る欠陥検査装置の使用により、

- (1) 微小な欠陥の検出
- (2) 検出欠陥の個数、位置、寸法、欠陥種に関する検査結果の取得
- (3) 所定時間内における多数の試料の検査

などを実現できる。

[0018] 《第1の実施形態》

図1は、本実施形態に係る欠陥検査装置100の概略構成図の例である。

本実施形態に係る欠陥検査装置100は、表面にパターンが形成されていない平坦な面を有する試料1を対象とし、この試料1の表面の異物や凹みなどの欠陥を検査する。

[0019] 欠陥検査装置100は、照明部101、集光検出部102-1～102-3、センサ部103-1～103-3、センサシフト手段104-1～104-2、ステージ105、センサ部103-4を備える。欠陥検査装置100は更に、集光レンズ91、結像レンズ92、二次元センサ93、信号処理部5200、制御部53、表示部54、入力部55の各部を備える。

制御部53は、情報を表示する表示部54と、データや指示などを入力する入力部55と共に、この欠陥検査装置100を統括して制御する。

[0020] センサ部103-1～103-3は、集光検出部102-1～102-3で集光した光学像を光電変換して、電気信号として出力する。ステージ105は、試料1であるウェハを載置する。集光検出部102-1～102-3は、照明部101が試料1に照射した照明スポットの反射光を集光して入射

した光の偏光状態を制御して、センサ部103-1~103-3のアレイ状の受光部に光学像を形成する。センサ部103-4は、集光検出部102-3で集光した光学像を光電変換して、電気信号として出力する。二次元センサ93は、集光レンズ91と結像レンズ92で結像した光学像を光電変換して、電気信号として出力する。

[0021] 照明部101は、レーザ光源2、アッテネータ3、出射光調整部4、ビームエキスパンダ5、偏光制御部6、集光光学部7を適宜備える。集光検出部102-3は、試料1の法線方向から光を入射する際の照明光の集光手段としても用いる。

[0022] 各センサ部103-1~103-3は、ラインセンサであり、CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) センサまたはCCD (Charge Coupled Device) センサが用いられる。センサ部103-4と二次元センサ93は、二次元のCCD撮像センサ、CMOS撮像センサ、またはPSD (ポジションセンシングディテクタ) が用いられる。各センサ部103-1~103-3は、試料1の表面に照射された照明スポットと共役の位置にアレイ状の受光部と反射防止膜とを備えている。

[0023] センサシフト手段104-1は、センサ部103-1を物理的にシフトさせて、この高さ変動による光学像のシフトを抑制する。センサシフト手段104-2も同様な機能を有する。センサシフト手段104-1, 104-2は、例えば超音波リニアアクチュエータが適用されるとよい。

[0024] 信号処理部5200は、照明スポット位置解析部520、メモリ部521、信号統合部522、欠陥検出部523を備えて構成されている。センサ部103-1~103-3は、光学像を光電変換して、所定のサンプリングを行い、アナログ・デジタル変換によりデジタルデータを出力する。その後、照明スポット位置解析部520は、デジタルデータから照明スポットの位置を解析して、メモリ部521に散乱光データとして蓄積する。信号統合部522は、この散乱光データに基づき、同一のセンサ部103内で照明スポット20の位置が異なるデータ間での統合演算を行い、更に異なるセンサ部1

03間での統合演算を行う。

欠陥検出部523は、統合演算を行った後のデータにおける高周波・高輝度部を欠陥として抽出する。

[0025] レーザ光源2から射出されたレーザ光ビームは、アッテネータ3で所望のビーム強度に調整され、出射光調整部4で所望のビーム位置、ビーム進行方向に調整される。更にレーザ光ビームは、ビームエキスパンダ5で所望のビーム径に調整され、偏光制御部6で所望の偏光状態に調整され、ウェハである試料1の検査対象領域に照明される。

[0026] 照明部101の光路中に配置された反射ミラー80、82の位置と角度により試料1の表面に対する照明光の入射角（試料1の表面の法線方向に対する傾き角）が決められる。照明光の光軸120の入射角は微小な欠陥の検出に適した角度に設定される。調整機構部81は、反射ミラー80の角度を調整するものである。

[0027] レーザ光ビームの照明入射角が大きいほど、すなわち照明仰角（試料1の表面と照明光の光軸120との成す角）が小さいほど、試料1の表面上の微小異物からの散乱光に対してノイズとなる試料1の表面の微小凹凸からの散乱光（ヘイズと呼ばれる）が弱まる。そのため、照明入射角が大きいレーザ光ビームは、微小な欠陥の検出に適する。

このため、試料1の表面の微小凹凸からの散乱光が微小欠陥検出の妨げとなる場合、試料1の表面への照明光の入射角は、好ましくは75度以上かつ90度未満（仰角15度以下かつ0度を超える）に設定するのがよい。

[0028] 一方、斜入射照明において、照明入射角が小さいほど微小異物からの散乱光の絶対量が大きくなる。そのため、欠陥からの散乱光が微小欠陥検出の妨げとなる場合、試料1の表面への照明光の入射角は、好ましくは60度以上かつ75度以下（仰角15度以上かつ30度以下）に設定するのがよい。

[0029] また、斜入射照明を行う場合、照明部101の偏光制御部6における偏光制御により、照明の偏光をP偏光とすることで、その他の偏光と比べて試料1の表面上の欠陥からの散乱光が増加する。また、試料1の表面の微小凹凸

からの散乱光が微小欠陥検出の妨げとなる場合には、照明の偏光をS偏光とすることで、その他の偏光と比べて試料1の表面の微小凹凸からの散乱光が減少する。また、照明の偏光はPとSの間である45度偏光や、円偏光に設定することも可能である。

[0030] 反射ミラー82は、図示していない駆動機構を用いてZ軸方向に上下させることにより、光路からの出し入れが可能である。反射ミラー82を光路から外すと、偏光制御部6から出射した照明光は、反射ミラー83、偏光ビームスプリッタ84、偏光制御部85、集光検出部102-3を介して試料1に垂直方向から入射される。集光検出部102-3は、その瞳部に反射ミラー102-33を備える。

[0031] 偏光制御部85は、後述する偏光制御部6と同様に、1/4波長板851と、1/2波長板852を含んで構成され、任意の偏光に制御することができる。

反射ミラー82を光路から外し、照明を垂直入射する条件では、偏光制御部85は、照明光が集光検出部102-3に円偏光で入射するように設定する。

[0032] 試料1の表面で反射した光は、反射ミラー102-33で光路分岐される。反射ミラー102-33において偏光制御部85の側に反射された試料1からの反射光は、偏光制御部85の1/4波長板851で直線偏光に変換される。そして光は、偏光ビームスプリッタ84で結像レンズ102-34に導かれ、センサ部103-4で検出される。

[0033] 図2Aと図2Bに、集光検出部102-3の詳細な構成を示す。図2Bは、図2AにおけるA-A断面の矢視図である。

集光検出部102-3の光軸上には、対物レンズ102-31と、反射ミラー102-33と、結像レンズ102-32とが配置され、センサ部103-3に光学像を結像するように構成されている。図2Aの上向き矢印はZ軸であり、横向き矢印は走査方向を示す方向S2である。

図2Bに示すように、照明スポット20は、試料1の表面に照射された照

明光であり、線状の強度分布を持つ。反射ミラー 102-33 は、照明スポット 20 の短径方向に長く、長径方向には短い形状を持つ。

[0034] 試料 1 から反射ミラー 102-33 に入射される反射光は、偏光制御部 85 に導かれる。反射ミラー 102-33 の周囲を通過した反射光は、結像レンズ 102-32 に入射する。

[0035] 図 1 に示すように、反射ミラー 82 を光路に挿入した斜方照明の条件では、センサ部 103-4 で検出する光量は微弱である。そのため、本実施形態では、センサ部 103-4 の代わりに、二次元センサ 93 を用いる。すなわち、本実施形態では、試料 1 の表面で直接反射した反射光を、集光レンズ 91 と結像レンズ 92 に入射させて、二次元センサ 93 上に結像させる。

欠陥検査装置 100 は、センサ部 103-4 または二次元センサ 93 が検出した光を用いて、照明スポット 20 をモニタする。

[0036] レーザ光源 2 は、試料 1 の表面近傍の微小な欠陥を検出するために、試料 1 の内部に浸透しづらい波長のレーザ光を射出する。すなわち、レーザ光源 2 は、短波長（波長 355 nm 以下）の紫外または真空紫外のレーザビームを出力 2 W 以上の高出力で射出する。本実施形態では、波長 266 nm のレーザビームを適用する。なお、これに限られず、波長 200 ~ 380 nm の近紫外線、または、波長 10 ~ 200 nm の真空紫外線に含まれる任意の波長を使用してもよい。

[0037] 照明部 101 の出射ビーム径は、1 mm 程度である。なお、試料 1 の内部の欠陥を検出するには、試料 1 の内部に浸透しやすい波長として、可視あるいは赤外のレーザビームを発振するものが用いられる。

[0038] 図 3 は、アッテネータ 3 の構成を示す図である。

アッテネータ 3 は、第一の偏光板 31 と、照明光の光軸周りに回転可能な 1/2 波長板 32 と、第二の偏光板 33 を適宜備える。アッテネータ 3 に入射した光は、第一の偏光板 31 により直線偏光に変換され、1/2 波長板 32 の遅相軸方位角に応じて偏光方向が任意の方向に回転されて、第二の偏光板 33 を通過する。

[0039] 1 / 2 波長板 3 2 の方位角を制御することで、光強度が任意の比率で減光される。アッテネータ 3 に入射する光の直線偏光度が十分高い場合は、第一の偏光板 3 1 は必ずしも必要ない。アッテネータ 3 は入力信号と減光率との関係が事前に較正されたものを用いる。アッテネータ 3 として、グラデーション濃度分布を持つ ND (Neutral Density) フィルタを用いることも、互いに異なる複数の濃度の ND フィルタを切替えて使用することも可能である。

[0040] 図 1 に戻り説明を続ける。出射光調整部 4 は、複数枚の反射ミラー 4 1, 4 2 を備える。ここでは二枚の反射ミラー 4 1, 4 2 で構成した場合の実施形態を説明するが、これに限られるものではなく、三枚以上の反射ミラーを適宜用いても構わない。ここで、三次元の直交座標系 (X Y Z 座標) を仮に定義し、反射ミラー 4 1 への入射光が + X 方向に進行しているものと仮定する。

[0041] 反射ミラー 4 1 は、入射光を + Y 方向に偏向するよう設置されている。すなわち、入射光は、反射ミラー 4 1 において、X Y 面内での入射と反射とを行う。

反射ミラー 4 2 は、反射ミラー 4 1 が反射した光を + Z 方向に偏向するよう設置される。すなわち、入射光は、反射ミラー 4 2 において、Y Z 面内での入射と反射を行う。各々の反射ミラー 4 1, 4 2 は、図示していない機構を用いて平行移動とあおり角調整とが行われる。これにより、出射光調整部 4 から出射する光の位置と進行方向 (角度) とが調整される。

[0042] このように、反射ミラー 4 1 の入射・反射面 (X Y 面) と反射ミラー 4 2 の入射・反射面 (Y Z 面) が直交するような配置としている。これにより、出射光調整部 4 から出射する光 (+ Z 方向に進行) の X Z 面内の位置、角度調整と、Y Z 面内の位置、角度調整とを独立に行うことができる。

[0043] ビームエキスパンダ 5 は、レンズ群 5 1, 5 2 を有し、入射する平行光束の直径を拡大する機能を持つ。ビームエキスパンダ 5 は、レンズ群 5 1 が凹レンズ、レンズ群 5 2 が凸レンズとして構成されるガリレオ型である。ビームエキスパンダ 5 は、図示していない二軸以上の並進ステージに設置され、

所定のビーム位置と中心が一致するように位置調整が可能である。また、ビームエキスパンダ5の光軸と所定のビーム光軸が一致するようにビームエキスパンダ5全体のあおり角調整機能が備えられている。

[0044] レンズ群51, 52の間隔を調整することにより、光束直径の拡大率を制御（ズーム機構）することが可能である。ビームエキスパンダ5に入射する光が平行でない場合には、レンズ群51, 52の間隔の調整により、光束の直径の拡大とコリメート（光束の準平行光化）が同時に行われる。

[0045] なお、光束のコリメートは、ビームエキスパンダ5の上流にビームエキスパンダ5と独立にコリメートレンズを設置して行ってもよい。ビームエキスパンダ5によるビーム径の拡大倍率は5倍から10倍程度であり、光源から出射したビーム径1mmのビームが5mmから10mm程度に拡大される。

[0046] 偏光制御部6は、1/2波長板61と1/4波長板62とを備えており、照明光の偏光状態を任意の偏光状態に制御する。

[0047] 図4と図5に、照明部101より試料1の表面に導かれる照明光の光軸120と照明強度分布形状との位置関係の模式図を示す。なお、図4と図5における照明部101の構成は、図1で説明した照明部101の構成の一部を示したものであり、図1で説明した出射光調整部4、反射ミラー82、調整機構部81等は省略されている。

[0048] 図4は、斜入射照明の入射面の断面の模式図を示している。ここで入射面とは、照明光の光軸120と試料1の表面の法線とを含む面である。

斜入射照明は、入射面内にて試料1の表面に対して傾斜している。照明部101により入射面内において均一の照明強度分布が作られる。図4の右側の照明強度分布1201に示すように、試料1の表面の線状に照明された領域において照明強度はガウス状の強度分布をもち、ピークの13.5%で定義されるビーム幅L1の長さは、25μmから4mm程度である。

[0049] 図5は、試料1の表面の法線を含みかつ斜入射照明の入射面に垂直な断面の模式図を示している。

この面内で、試料1の面上の照明強度分布は、図5の右側の照明強度分布

1202に示すように、試料1の面上における光軸120の中心に対して周辺の強度が弱い照明強度分布を成す。より具体的には、集光光学部7に入射する光の強度分布を反映したガウス分布、あるいは集光光学部7の開口形状を反映した第一種第一次のベッセル関数あるいはsinc関数に類似した強度分布となる。

[0050] この面内での照明強度分布の長さL2は、試料1の表面から発生するヘイズを低減するため、前記入射面内における照明強度が均一である部分の長さより短く、1.0 μ mから20 μ m程度である。照明強度分布の長さL2は、最大照明強度の13.5%以上の照明強度を持つ領域の長さをいう。

[0051] 以下、図6と図7を用いて、照明部101によって試料1の面上に形成される照度分布形状（照明スポット20）と試料走査方法について説明する。試料1は、円形の半導体シリコンウェハが想定されている。ステージ105は、並進ステージ、回転ステージ、試料面高さ調整のためのZステージ（いずれも図示せず）を備える。

[0052] 図6に示すように、照明スポット20は前述の通り一方向に長い照明強度分布を持ち、これを方向S2（図4におけるL1の方向）する。方向S1（図5におけるL2の方向）は、方向S2と直交している。照明スポット20はステージ105を構成する回転ステージの回転運動によって、回転ステージの回転軸を中心とした円の円周の方向S1に操作される。また照明スポット20は、並進ステージの並進運動によって、並進ステージの方向S2に走査される。

[0053] 図7に示すように、試料1を連続的に回転させるとき、試料1を1回転する間に、走査方向S2へ照明スポット20の長手方向の長さ以下の距離だけ走査することにより、照明スポット20が試料1上に螺旋状の軌跡T1を描き、試料1の全面が走査される。

[0054] 図8は、回転ステージの代わりに2軸の併進ステージを備えた構成における照明スポット20の走査を示す。2軸の併進ステージを方向S1に走査することで、照明スポット20は方向S1に照明スポット20の長さで帯状に

試料面を一定速度で走査する。試料 1 の端部において方向 S 2 に走査幅だけ併進ステージを移動して視野を移動し、方向 S 1 と逆方向に一定速度で走査を行うことを繰り返して行うことにより、軌跡 T 2 を描き、試料 1 の全面が走査される。

[0055] 図 9 A および図 9 B に、センサ部 1 0 3 の受光部の横、および上方から照明スポット 2 0 の光学像 2 2 を検出する集光検出部 1 0 2 のブロック図を示す。

これは集光検出部 1 0 2 - 1 ~ 1 0 2 - 2 に相当する。図 9 A は、センサ部 1 0 3 - 1, 1 0 3 - 2 の受光部の並び方向、かつ図 1 の + Y 方向から見た図である。図 9 B は、センサ部 1 0 3 - 1, 1 0 3 - 2 の受光部 1 0 3 1 の並びの直交方向、かつ図 1 の - Z 方向から見た図である。集光レンズ 1 0 2 1 は、作動距離が変化した場合にも倍率が変わらないように、テレセントリック光学系とする。

[0056] 集光検出部 1 0 2 は、その光軸 1 2 1 の方向に、集光レンズ 1 0 2 1、1 / 2 波長板 1 0 2 2、偏光ビームスプリッタ 1 0 2 3、1 / 2 波長板 1 0 2 4、シリンドリカルレンズ 1 0 2 5, 1 0 2 6、結像レンズ 1 0 2 7 を備える。集光検出部 1 0 2 は、偏光ビームスプリッタ 1 0 2 3 が分離した光の方向に、ビームディフューザ 1 0 2 8 を備える。

[0057] 集光検出部 1 0 2 は、集光レンズ 1 0 2 1 で光を集光し、1 / 2 波長板 1 0 2 2 でその偏光方向を制御する。1 / 2 波長板 1 0 2 2 は、図示しない駆動部により回転可能とする。偏光ビームスプリッタ 1 0 2 3 は、偏光により光路を分岐させる。1 / 2 波長板 1 0 2 2 と偏光ビームスプリッタ 1 0 2 3 の組み合わせにより、試料の欠陥を示す光信号と、試料の欠陥検出を阻害する光信号（例えば、試料面からのラフネス散乱光）とを分離しやすくしている。つまり、集光検出部 1 0 2 は、試料 1 の表面からの照明スポットの反射光を集光して入射した光の偏光状態を制御して光学像を形成する。

[0058] 本方式では、光軸 1 2 1 が受光部 1 0 3 1 の法線方向に対して傾斜している。よって、本方式では、受光部の法線方向から光が照射される通常の場合

と異なり、偏光により受光部 1031 の光の吸収率が変化する。1 / 2 波長板 1024 は、受光部 1031 の光の吸収率が高くなるように偏光方向を制御する。対となるシリンドリカルレンズ 1025, 1026 は、シリンドリカルビームエキスパンダを構成し、照明スポット 20 が結像した光学像 22 の短手方向 γ の広がり、この光学像 22 の長手方向の広がりよりも小さくしている。

[0059] 結像レンズ 1027 は、センサ部 103 の受光部 1031 上に、照明スポット 20 の光学像 22 を形成する。ビームディフューザ 1028 は、不要な光が迷光になることを防ぐ。

[0060] センサ部 103 の受光部 1031 は、試料 1 の表面に照射された線状の照明スポット 20 が、集光検出部 102 によって受光部 1031 上に結像する光学像 22 の長手方向と平行に配置される。これによりセンサ部 103 は、光学像 22 を撮像して電気信号として出力する。センサ部 103 は、試料 1 の表面に照射された前記照明スポットと共役の位置にアレイ状の受光部と反射防止膜とを備えている。センサ部 103 の受光面は、短手方向 γ において試料面と共役ではない。しかし、短手方向 γ は照明スポット 20 の短手方向でもあるため、光学像 22 の像高は低く、焦点ずれはほとんど発生しない。よって、短手方向 γ における光学像 22 の結像倍率を大きくすることで、受光部 1031 への入射角度のばらつきを小さくすることができる。

[0061] 集光検出部 102 の光を検出する光軸 121 が、試料 1 の法線方向に対して角度 θ 、照明スポット 20 の長手方向に対して角度 ϕ だけずれていたとすると、3次元空間において、この光軸 121 は、以下の式 (1) のベクトル v_0 で表される。

[数1]

$$v_0 = [\sin \theta \cos \phi \quad \sin \theta \sin \phi \quad \cos \theta] \quad \cdots (1)$$

[0062] このベクトル v_0 と、照明スポット 20 の長手方向とがなす角度 α は、以下の式 (2) により求められる。

[数2]

$$\alpha = \arccos(\sin \theta \cos \phi) \quad \cdots (2)$$

[0063] このとき、欠陥検査装置100は、センサ部103により照明スポット20の長手方向に2Lの区間を検出する。視野中心からの位置xにより、作動距離は、以下の式(3)で示す ΔZ のように変化する。

[数3]

$$\Delta Z = x(\sin \theta \cos \phi), |x| < L \quad \cdots (3)$$

[0064] 結像倍率Mは、集光レンズ1021と結像レンズ1027によって決定される。ここで結像される像の位置は、以下の式(4)のように表される。

[数4]

$$\Delta Z = M^2 x(\sin \theta \cos \phi), |x| < L \quad \cdots (4)$$

[0065] 一般にラインセンサは、結像レンズが放射する光束の中心である光軸に対して、直交するように配置される。しかし、本実施形態では、センサ部103を傾斜させることにより、作動距離の視野内の変化によらず、焦点ずれのない結像検出を実現する。このとき、センサ部103に入射する光軸121と受光面の画素並びベクトル v_1 は、照明スポット20の長手方向と、ベクトル v_0 によって張られる平面内であり、かつ以下の式(5)を満たすように設定する。

[数5]

$$v_0 \cdot v_1 = M \sin \theta \cos \phi \quad \cdots (5)$$

[0066] 式(5)より、結像倍率Mが大きくなると、ベクトル v_0 とベクトル v_1 との内積が大きくなる。すなわち、ベクトル v_0 とベクトル v_1 のなす角度 β が小さくなって結像性能が低下する。角度 β は、式(5)の逆余弦関数よ

り求めることができる。

例えば、角度 α が 60° であった場合、結像倍率 M を2とすると入射角度は 0° となり、入射開口数が0でも結像できなくなる。これを防ぐため、結像倍率 M は、2倍以下に設定されている。

[0067] この条件のときに、結像レンズ1027からセンサ部103に入射する光軸121とベクトル v_1 のなす角を最大にすることができる。なお、集光レンズ1021の入射光束の開口数が N であった場合、センサ部103に出射する光束の拡がりは、結像倍率 M の逆数となる。

[0068] 前述のように、結像倍率 M を2倍以下とするため、特に集光レンズ1021として開口数の大きなレンズを採用すると、センサ部103には、広い方向からの光が入射されることになる。図11と図12Aから図12Eで後述する反射防止膜1033の特性により、センサ部103への光の入射角範囲が広いと、センサ部103の光の吸収率が低くなり、高感度化が困難になる。このため、結像倍率 M は、1倍以上に設定されている。この結果、角度 β は、角度 α に対して小さくなり、典型的には、1.2倍程度の倍率を与えることで5度以上小さくなる。

[0069] なお、ここで結像倍率 M が2倍以下とされているのは、センサ部103のアレイ状の受光部の並び方向の結像倍率 M_x である。センサ部103のアレイ状の受光部の並び方向に直交する短手方向 γ の結像倍率 M_y に関しては、光学像22の短手方向は、像高が低く、焦点ずれの恐れが少ないので、このような制約はない。結像倍率 M_y を大きくすることにより、この短手方向 γ に関しては、センサ部103の受光部1031に入射する光の入射角ばらつきが小さくなる。そのため、受光部1031の光の吸収率を向上させることで、センサ部103の感度の向上が可能になる。よって、結像倍率 M_x よりも結像倍率 M_y を高くすることが望ましい。

[0070] 本実施形態のシリンドリカルレンズ1025、1026は、照明スポット20の短手方向の結像倍率 M_y を、長手方向の結像倍率 M_x よりも高めている。一方、結像倍率を大きくすることにより、これにより、センサ部103の

感度を向上させることができる。

試料 1 の法線方向 n は、センサ部 103 の受光部 1031 を横から見た図 9A において、受光部 1031 の長手方向 δ や、短手方向 γ と典型的には直交しない。

[0071] 図 9C に、試料 1 の立体的な検出の概略図を示す。

集光検出部 102 の光軸 121 は、試料 1 の法線方向 n に対して角度 θ だけ傾斜している。光軸 121 の試料面への射影は、照明スポット 20 の長手方向 $S2$ に対して角度 ϕ だけ傾斜している。

[0072] 図 9D に、このときのセンサ部 103 の受光部 1031 における光学像 22 の変動方向を図示する。

試料 1 が方向 $S1$ に変動すると、その光学像 22 は方向 $U1$ にシフトする。試料 1 が方向 $S2$ に変動すると、その光学像 22 は方向 $U2$ にシフトする。更に試料 1 が法線方向 n に高さ変動すると、光学像 22 は方向 m にシフトする。

[0073] 図 9C に示す試料 1 は、法線方向 n に高さ変動がないことが理想である。図 9C に示す試料 1 の高さが法線方向 n に変動すると、光学像 22 は方向 m にシフトする。つまり、試料 1 の高さの変動により、光学像 22 の位置は、図 9A の長手方向 δ に $\cos(a)$ に比例してシフトし、短手方向 γ に $\sin(a)$ に比例してシフトする。

[0074] 光学像 22 が短手方向 γ にシフトした場合、センサ部 103 の受光部 1031 から外れるので、光量が低下する。光学像 22 が長手方向 δ にシフトすると、試料 1 の長手方向の撮像位置が変化する。本実施形態では、センサ部 103 の受光部 1031 は、長手方向 δ と短手方向 γ の両方に所定の撮像素子が配列された二次元センサである。制御部 53 は、二次元センサである受光部 1031 により、光学像 22 の短手方向 γ のズレを計測して、試料 1 の高さの変動を計測する。そして制御部 53 は、試料 1 の高さの変動に基づき、センサシフト手段 104-V, 104-H によりセンサ部 103 を物理的にシフトさせて、この高さ変動による光学像 22 のシフトを抑制する。セン

サシフト手段１０４－Ｖ，１０４－Ｈとしては、超音波リニアアクチュエータを適用するとよい。

[0075] 図９Ｃは、照明スポット２０の長手方向と直交する方向から照明スポットの像を検出する集光検出部１０２を、センサ部１０３の受光部および方向から見たブロック図である。

図９Ｃは、集光検出部１０２－３に相当する。センサ部１０３は、結像レンズ１０２７からの入射する光束中心が、このセンサ部１０３の画素の並び方向と直交するように配置される。

[0076] 図１０は、センサ部１０３を構成する撮像センサ１０３６の断面構成図を示す。

撮像センサ１０３６は、表面から順に反射防止膜１０３３と、受光部１０３１と、配線部１０３２とが積層されて構成されている。入射光１２２Ａ～１２２Ｃは、撮像センサ１０３６に入射する光である。

[0077] 入射光１２２Ａは、図９Ａや図９Ｂに示した光軸１２１上の光である。入射光１２２Ｂ，１２２Ｃは、光軸１２１とは異なる角度から入射する光である。

反射防止膜１０３３は、各入射光１２２Ａ～１２２Ｃの表面反射を防止するための膜である。受光部１０３１はアレイ状であり、区切られた領域、すなわち画素毎に光電変換を行う。配線部１０３２は、受光部１０３１で出力した電気を独立に外部に取り出す。

このように、受光部１０３１が配線部１０３２よりも光入射側にある構造のセンサは、裏面照射型（Back side Illumination）センサとして知られている。

本実施形態では、入射光が受光部の法線方向から所定角度だけずれて入射される。そのため、ＦＳＩ（Front side Illumination）として知られ、配線部が光の入射側にある構造のＣＭＯＳ撮像センサでは、配線部で光が吸収され、受光部に十分な光を入射させることができない。

[0078] 入射光１２２Ａ～１２２Ｃに示すように、受光部１０３１には、多様な方

向から光が入射される。そのため、反射防止膜 1033 は、これら入射光 122A～122C に対して、高い吸収率を持たなければ良好な感度を得ることができない。

一般に撮像センサの反射防止膜は、光の入射角が 0 度近傍を想定して形成されている。図 11 を用いて、これを説明する。

[0079] 図 11 は、光の入射側から、SiN 27 nm、SiO₂ 44 nm、SiN 30 nm、SiO₂ 80 nm の 4 層の薄膜で反射防止膜 1033 を形成し、かつ 266 nm の波長の光を入射した場合に Si で形成した受光部 1031 に光が吸収される吸収率を示したグラフである。グラフの横軸は入射角を示しており、グラフの縦軸は吸収率を示している。

[0080] 曲線 10331 は、S 偏光の吸収率の特性を示している。曲線 10332 は、P 偏光の吸収率の特性を示している。

光の入射角が 0 度、すなわち、法線方向から入射した場合は吸収率が高い。しかし、光の入射角が大きくなるにつれて、吸収率が低下する。具体的にいうと、光の入射角が 25 度付近になると、S 偏光の吸収率が 0.5 に低下し、入射角が 33 度付近になると P 偏光の吸収率が 0.5 に低下する。そして、入射角が 45 度付近になると S 偏光の吸収率は 0.1、P 偏光の吸収率は 0.3 と大幅に低下する。

このように、一般的な反射防止膜を受光部上に形成しても、光の入射角のため良好な感度が得られないことがわかる。

[0081] 図 12A は、HfO₂ 25 nm の一層で形成した反射防止膜 1033 の特性を示すグラフである。グラフの横軸は入射角を示しており、グラフの縦軸は吸収率を示している。

曲線 10333 は、S 偏光の吸収率の特性である。曲線 10334 は P 偏光の吸収率の特性である。P 偏光の吸収率は入射角が大きくなるにつれて低下するが、吸収率が 0.5 に低下するのは入射角が 60 度の付近である。

[0082] また、S 偏光は入射角が 70 度程度まで増加しており、入射角が 0～80 度の領域で、70%以上の吸収率を示している。ただし、センサ部 103ー

1, 103-2は、作動距離の視野内の変化によらず、焦点ずれのない結像検出を実現するため、所定角度だけ傾斜させる必要がある。

つまりセンサ部103-1の受光面の法線は、集光検出部102-1の光軸121-1から、例えば10～80度だけ傾斜させることが望ましい。

[0083] 本実施形態の反射防止膜1033の性能を最大化するため、図9Aの1/2波長板1024の回転角を制御して、センサ部103にS偏光入射がされるようにするとよい。また、図9Bの対となるシリンドリカルレンズ1025, 1026で形成するエキスパンダの倍率を高くすることにより、ほぼ直線状の偏光入射を実現することができる。

[0084] なお、本実施形態では、反射防止膜1033として HfO_2 を用いたが、266nmの波長の入射光に対して同様の屈折率をもつ物質として、 Si_3N_4 がある。266nmの波長の入射光に対する HfO_2 の屈折率は(2.1, 0)である。一方で、266nmの波長の入射光に対する Si_3N_4 の屈折率は(2.21, 0.0013)である。

[0085] 受光面であるSiの消衰係数が大きいと、反射防止膜1033は、大きな屈折率の方が良好な吸収率特性を得やすい。 Si_3N_4 は、 HfO_2 よりも大きな屈折率をもつが、消衰係数が0ではなくなるという課題がある。 Si_3N_4 の吸収率特性は、ほぼ HfO_2 と同様である。

[0086] 反射防止膜1033は、 Si_3N_4 、 HfO_2 ともに、22nmから29nmの厚みであることが望ましい。例として、波長266nmにおいて、21nmと30nmの膜厚の HfO_2 のシリコン表面への吸収特性を示す。

[0087] 《第1の実施形態の変形例》

図12Bは、 HfO_2 21nmの一層で形成した反射防止膜1033の特性を示すグラフである。グラフの横軸は入射角を示しており、グラフの縦軸は吸収率を示している。

曲線10339は、S偏光入射の吸収率特性である。曲線10330は、P偏光入射の吸収率特性である。21nmの膜厚では、曲線10339, 10330は、入射角度が0度から45度付近まではフラットになっているが

、それ以上の入射角度では吸収率が低下している。

図12Cは、 HfO_2 30 nmの一層で形成した反射防止膜1033の特性を示すグラフである。グラフの横軸は入射角を示しており、グラフの縦軸は吸収率を示している。

曲線10339aは、S偏光入射の吸収率特性である。曲線10330aは、P偏光入射の吸収率特性である。曲線10339aで示されるように、反射防止膜1033を30 nmの膜厚とすると、入射角度が75度付近でP偏光入射の吸収率が増大するが、入射角が45度以下の領域では、P偏光入射の吸収率が低下する。

[0088] 本実施形態では266 nmの入射光に対する特性を示したが、入射光の波長は、例えば240 nm～293 nmのように、所定のズレがあってもよい。また、 HfO_2 は190 nm付近の波長まで、屈折率が大きいが消衰係数を比較的小さい。そのため、 HfO_2 を用いた反射防止膜1033は、波長190～266 nmの領域で良好なセンサ感度を実現することが可能である。

[0089] 《第2の実施形態》

図12Dは、 SiN 36.8 nm、 SiO_2 90 nmの2層で形成した反射防止膜1033の特性を示すグラフである。グラフの横軸は入射角を示しており、グラフの縦軸は吸収率を示している。

曲線10335は、S偏光の吸収率特性を示している。曲線10336は、P偏光の吸収率特性を示している。入射光122Aの入射角が50度の場合、この50度における曲線10335で示される吸収率は、図12Aで示す曲線10333よりも良好である。つまりセンサ部103-1の受光面の法線は、集光検出部102-1の光軸121-1から、例えば45～55度だけ傾斜させることが望ましい。

しかし、吸収率が良好な領域は、入射角が45～55度、幅10度程度の区間であり、集光レンズ1021の開口数 (numerical aperture) が大きな場合には、良好な特性であるとは言えない。

[0090] 《第3の実施形態》

図12Eは、SiN 36.8nm、SiO₂ 46nm、SiN 33.5nm、SiO₂ 94nmで形成した反射防止膜1033の特性を示すグラフである。グラフの横軸は入射角を示しており、グラフの縦軸は吸収率を示している。

曲線10337で示すS偏光の吸収率特性は、50度の入射角で非常に良好であるが、吸収率が良好な入射角範囲は、図12Dに示した2層の状態よりも更に狭く、曲線10338で示すP偏光の吸収率は、そのピーク位置でS偏光に劣る。この場合、センサ部103-1の受光面の法線は、集光検出部102-1の光軸121-1から、例えば45～55度だけ傾斜させることが望ましい。

[0091] 図12Dと図12Eに示した反射防止膜1033の特性は共に、光の入射側のSiN膜が37nm程度と、図11に示した27nmのSiN膜の膜厚に対して厚くしている。これにより、本実施形態は、大きな入射膜でのSiN膜の反射とSiで形成した受光部からの反射を干渉させて反射を抑制し、吸収率を改善している。

[0092] 以上の比較から示されるように、本発明の条件、すなわち、センサ部103に入射する光軸121が受光部の法線方向からずれており、入射光束の角度がばらつくケースにおいて、反射防止膜1033は、1層で形成されることが望ましい。

[0093] なお、2層の曲線10335のピーク特性と、4層の曲線10336, 10337のピーク特性は、曲線10333の特性よりも良好である。この良好な吸収率特性を活かすには、センサ部103に入射する光をコリメートするとよい。

[0094] 《第4の実施形態》

図13は、入射する光をコリメートする撮像センサ1036aを示す図である。

撮像センサ1036aは、表面から順にシリンドリカルレンズアレイ1035と、反射防止膜1033と、受光部1031と、配線部1032とが積

層されて構成されている。これらのうち、反射防止膜 1033 と、受光部 1031 と、配線部 1032 とは、図 10 に示した撮像センサ 1036 と同様である。

[0095] シリンドリカルレンズアレイ 1035 は、合成石英で形成されたシリンドリカルレンズのアレイである。シリンドリカルレンズアレイ 1035 のレンズピッチは、受光部 1031 のピッチと等しく形成される。

[0096] シリンドリカルレンズアレイ 1035 は、結像レンズ 1027（図 9A から図 9C）を出射した光束が、シリンドリカルレンズアレイ 1035 内で結像し、シリンドリカルレンズアレイ 1035 を出射した光がコリメートされるように配置されている。各シリンドリカルレンズでコリメートした光が、受光部 1031 の各画素に入射するよう、シリンドリカルレンズアレイ 1035 と受光部 1031 のピッチはずらすされている。

このような撮像センサ 1036a を使うことにより、反射防止膜 1033 を 2 層または 4 層で構成することができる。

[0097] 図 14 を用いて、図 1 の構成で試料 1 が ΔZ だけずれた場合の、センサ部 103 における光学像のずれについて説明する。

撮像センサ 1036-1 は、センサ部 103-1 に含まれる。撮像センサ 1036-2 は、センサ部 103-2 に含まれる。撮像センサ 1036-3 は、センサ部 103-3 に含まれる。

[0098] 試料 1 は、レーザ光ビームの照射により照明スポット 20 が照らされる。試料 1 の表面には欠陥 15 が形成されている。

このとき、撮像センサ 1036-1 の面上には、照明スポット 20 の光学像 22-1 と、欠陥 15 の光学像 151-1 とが結像する。撮像センサ 1036-2 の面上には、照明スポット 20 の光学像 22-2 と、欠陥 15 の光学像 151-2 とが結像する。撮像センサ 1036-3 の面上には、照明スポット 20 の光学像 22-3 と、欠陥 15 の光学像 151-3 とが結像する。

[0099] ここで、試料 1 に対して ΔZ だけ位置がずれた試料 11 を考える。照明ス

ポット 2 1 は、レーザ光ビームの照射により試料 1 1 の表面が所定の照明強度で照らされた領域であり、試料 1 に対して ΔZ だけずれたことに伴い、その位置がずれている。欠陥 1 6 は、試料 1 の欠陥 1 5 が ΔZ だけずれたものである。

[0100] これを撮像した場合、撮像センサ 1 0 3 6 - 1 の面上には、照明スポット 2 1 の光学像 2 3 - 1 と、欠陥 1 6 の光学像 1 6 1 - 1 が結像する。撮像センサ 1 0 3 6 - 2 の面上には、照明スポット 2 1 の光学像 2 3 - 2 と、欠陥 1 6 の光学像 1 6 1 - 2 が結像する。撮像センサ 1 0 3 6 - 3 の面上には、照明スポット 2 1 の光学像 2 3 - 3 と、欠陥 1 6 の光学像 1 6 1 - 3 が結像する。

[0101] ここで集光検出部 1 0 2 - 1 の光軸 1 2 1 - 1 と、集光検出部 1 0 2 - 2 の光軸 1 2 2 - 2 とは、試料 1 の法線に対して線対称である。また、集光検出部 1 0 2 - 3 の光軸 1 2 2 - 3 は、試料 1 の面の法線方向と一致している。

[0102] 照明光の光軸 1 2 0 の入射角度を θ_1 とすると、試料 1 が ΔZ だけずれることにより照明スポット 2 0 が照明スポット 2 1 の位置にずれる。このとき、照明スポット 2 0 の光学像 2 2 に対する照明スポット 2 1 の光学像 2 3 の位置のズレ量 Δspot は、以下の式 (6) で表される。

[数6]

$$\Delta \text{spot} = \Delta Z / \tan \theta_1 + \varepsilon \quad \dots (6)$$

[0103] ここで ε は、照明スポット 2 1 のズレである。

集光検出部 1 0 2 - 2 の仰角を θ_2 とすると、撮像センサ 1 0 3 6 - 2 において、試料 1 の面が ΔZ だけずれることによる欠陥 1 6 の光学像 1 6 1 - 1 に対する欠陥 1 5 の光学像 1 5 1 - 1 からのズレ量 $\Delta S2_2$ は、以下の式 (7) で表される。

[数7]

$$\Delta S2_2 = -\Delta Z / \tan \theta_2 \quad \dots (7)$$

[0104] 撮像センサ 1036-1 に形成される欠陥 16 の光学像 161-1 と、欠陥 15 の光学像 151-1 とのズレ量 $\Delta S2_1$ は、 $\Delta S2_2$ と正負が反転する。

撮像センサ 1036-2 における照明スポット 21 の光学像 23-2 の、照明スポット 20 の光学像 22-2 からのズレ量 $\Delta spot2$ は、以下の式 (8) で表される。

[数8]

$$\Delta spot2 = -\Delta Z / \tan \theta_2 + \Delta Z / \tan \theta_1 + \varepsilon \quad \dots (8)$$

[0105] 撮像センサ 1036-1 における照明スポット 21 の光学像 23-1 の照明スポット 20 の光学像 22-1 からのズレ量 $\Delta spot1$ は、以下の式 (9) で表される。

[数9]

$$\Delta spot1 = \Delta Z / \tan \theta_2 + \Delta Z / \tan \theta_1 + \varepsilon \quad \dots (9)$$

[0106] $\Delta spot1$ から $\Delta spot2$ を減算すると、照明スポット 21 の位置ずれをキャンセルすることができる。

[数10]

$$\Delta spot1 - \Delta spot2 = 2\Delta Z / \tan \theta_2 \quad \dots (10)$$

[0107] $\Delta spot1$ および $\Delta spot2$ は、撮像センサ 1036-1、および撮像センサ 1036-2 のヘイズ光量の重心位置より算出し、 $2\Delta Z / \tan \theta_2$ を求め、式 (7) より $\Delta S2_2$ を求めることで、センサ面における欠陥 15 の光学像のズレ量を求めることができる。

なお、本実施形態では、センサ部 103-1、103-2 に一次元センサを用いているので、方向 S1 に関する照明スポット 21 の位置ずれは計測できない。このため、方向 S1 に関する照明スポット 21 の位置ずれは、二次元センサ 93 またはセンサ部 103-4 によって計測するとよい。

[0108] 図15に、信号処理部5200で処理するデータ処理のブロック図と、その動作を示す。

センサ103-A~103-Nは、それぞれm画素分のデータを信号処理部5200に転送する。

照明スポット位置解析部520は、式(10)によりズレ量 ΔZ を算出し、次いで、時間方向、すなわち方向S1にバンドパスフィルタをかけて欠陥信号を抽出する。照明スポット位置解析部520は、抽出したデータをメモリ部521に蓄積させる。

[0109] ブロック521A~521Nは、それぞれ、センサ103-A~103-Nに対応する。ブロック521Aa~521Amは、センサ103-Aのaからm周までの螺旋走査のデータを示している。ブロック521Na~521Nmはセンサ103-Nのaからm周までの螺旋走査のデータを示している。

[0110] 信号統合部522は、センサ間統合部5220-1~5220-nを含んで構成される。センサ間統合部5220-1~5220-nは、メモリ部521に蓄積されたセンサA~Nのそれぞれの信号に所定のゲインを乗じた線形和の信号を合成する。

[0111] 検出される欠陥は、式(7)で示したように、試料面の高さ変動により、各センサ部103で異なる方向S2の位置ズレを引き起こす。そこで、本実施形態では、この位置ズレを考慮して、試料面で同一の位置を示すデータを合成するように、メモリからデータを読み出す。

[0112] a~m周の走査データ5220a-1~5220m-1は、所定のゲインセット G_1 を用いて合成したものである。a~m周の走査データ5220a-n~5220m-nは、所定のゲインセット G_n を用いて合成したものである。

[0113] 光量演算部5221-1~5221-nは、同一箇所を複数回走査したaからm周までの走査データを合成し、欠陥候補の光量を算出する。ここで、各走査において、照明スポット20が方向S1に安定しないと同一の位置の

光量を加算することができない。そこでセンサ部103-4または二次元センサ93で方向S1のズレ量を計測して補正し、異なる走査で得られたデータを補正する。

[0114] 欠陥検出部523は、光量演算部5221-1～5221-nで算出した欠陥候補の光量の何れかが、それぞれのゲインセットに設定されたしきい値を超えた場合に欠陥と判定し、図1に示した制御部53にその欠陥光量と欠陥を検出した位置の情報を出力する。制御部53は、表示部54などに欠陥光量と欠陥を検出した位置の情報を表示させる。

[0115] 《第5の実施形態》

欠陥検出感度の向上には、撮像する画像の解像度の向上が重要である。第1の実施形態における方向S1の解像度を向上させるには、照明スポット20の幅を狭めるとよい。しかし、照明スポット20の幅を狭めると、試料1に照射される光のパワー密度が上がって、試料1にダメージを与えてしまう。そこで、第5の実施形態では、光学像22の幅方向に積分露光するセンサを用いて感度を向上させている。第5の実施形態では更に、偏光ビームスプリッタ1023で分岐した両方の光路を通過する光をそれぞれ検出して加算している。

[0116] 図16Aは、図1のセンサ部103の受光部1031の並び方向、かつ図1の+Y方向から見たものに相当する図である。図16Bは、図1のセンサ部103の受光部1031の並びの直交方向、かつ図1の-Z方向から見たものに相当する図である。

[0117] 集光検出部102は、試料1の表面からの照明スポットの反射光を集光して入射した光の偏光状態を制御して光学像を形成する。集光検出部102は、その光軸121の方向に、集光レンズ1021、1/2波長板1022、偏光ビームスプリッタ1023、1/2波長板1024、シリンダリカルレンズ1025、1020、1026、結像レンズ1027を備える。集光検出部102は更に、偏光ビームスプリッタ1023が分離した光の方向に、1/2波長板1024b、シリンダリカルレンズ1025b、1020b、

1026b、結像レンズ1027bを備える。なお、ここでは図9Aと図9Bに示した集光検出部102との相違点について説明する。

[0118] 集光検出部102は、集光レンズ1021で光を集光し、1/2波長板1022でその偏光方向を制御する。1/2波長板1022は、図示しない駆動部により回転可能とする。偏光ビームスプリッタ1023は、偏光により光路を分岐させる。以下、偏光ビームスプリッタ1023が分岐した一方の光路には、第1の実施形態と同様に、1/2波長板1024と、シリンダリカルレンズ1025、1020、1026と、結像レンズ1027と、センサ部103aとが配置されている、典型的には、この光路の偏光方向は、S偏光である。

[0119] シリンダリカルレンズ1025、1020、1026は、シリンダリカルズーム光学系を形成している。シリンダリカルレンズ1020、1026はそれぞれ、図示しない駆動系によって、光軸121に沿って移動可能であり、センサ部103aの方向 γ の倍率を制御する。なお、センサ部103aの長手方向は、方向 δ_a である。センサシフト手段104aは、センサ部103aを物理的にシフトさせて、この高さ変動による光学像22aのシフトを抑制する。センサ部103aは、集光検出部102による照明スポットの光学像を電気信号として出力し、試料1の表面に照射された照明スポットと共役の位置にアレイ状の受光部と反射防止膜とを備える第1のセンサ部である。

[0120] 1/2波長板1024は、後段に配置するセンサ部103aの受光部1031での吸収効率が高くなるような偏光方向に制御する。この1/2波長板1024は、光の偏光方向を変換してセンサ部103a（第1のセンサ部）に導く第1の偏光方向変換ユニットとして機能する。

[0121] このため、偏光ビームスプリッタ1023のS偏光出力側の光路には1/2波長板を挿入しない。なお、この1/2波長板は、センサ部103の受光部の反射防止膜の膜厚設定によって変更しうるものであり、2つの光路にともに波長板を挿入してもよい。

[0122] 偏光ビームスプリッタ1023により分岐させた他方の光路には、1/2

波長板 1024b と、シリンドリカルレンズ 1025b, 1020b, 1026b と、結像レンズ 1027b と、センサ部 103b とが配置されている、典型的には、この他方の光路の偏光方向は、P 偏光である。センサ部 103b は、集光検出部 102 による照明スポットの光学像を電気信号として出力し、試料 1 の表面に照射された照明スポットと共役の位置にアレイ状の受光部と反射防止膜とを備える第 2 のセンサ部である。

[0123] 1/2 波長板 1024b は、後段に配置するセンサ部 103b の受光部 1031 での吸収効率が高くなるような偏光方向に制御する。この 1/2 波長板 1024b は、光の偏光方向を変換してセンサ部 103b (第 2 のセンサ部) に導く第 2 の偏光方向変換ユニットとして機能する。このように、本実施形態では、P 偏光と S 偏光の両方を 2 つの光路に分岐させ、それぞれ受光部での吸収効率が高くなるような偏光方向に制御しているので、センサ部の感度を向上させることができる。

[0124] シリンドリカルレンズ 1025b, 1020b, 1026b は、シリンドリカルズーム光学系を形成している。これらシリンドリカルレンズ 1020b, 1026b はそれぞれ、図示しない駆動系によって、光軸 121b に沿って移動可能であり、センサ部 103b の方向 γ の倍率を制御する。なお、センサ部 103b の長手方向は、方向 δ_b である。センサシフト手段 104b は、センサ部 103b を物理的にシフトさせて、この高さ変動による光学像 22b のシフトを抑制する。

[0125] 結像レンズ 1027、1027b は、照明スポット 20 を、センサ部 103a, 103b の光学像 22, 22b として結像する。センサ部 103a, 103b は、画素が 2 次元アレイ状に並ぶように形成する。このセンサ部 103a, 103b は、例えば TDI (Time Delay Integration) センサである。TDI センサは CCD センサの一種であり、列単位で電荷を垂直に転送するタイミングを、光学像 22 が垂直方向に移動するタイミングと合わせて積分露光する。これにより、CCD 画素の垂直段数分の積分露光を行うことができ、感度が向上すると共に、感度のばらつきが改善する。

[0126] 図17は、センサ部103aと、照明スポット20が集光検出部102により結像した光学像22を示す図である。

センサ部103aは、TDIセンサであり、複数のCCD画素が格子状に配列している。このセンサ部103aは、複数のCCD画素の行で構成されるライン1061-1～1061-10を含んで構成される。センサ部103aは、撮像の際にライン1061-1からライン1061-10まで順番に所定のレートで走査すると共に、各列のCCD画素の露光値を積分する。

[0127] 図17において、横方向がセンサ部103aの長手方向かつ方向U2であり、縦方向が電荷の蓄積方向かつセンサ部103aの短手方向である。センサ部103aにおける方向U2は、長手方向であり、かつ試料1上の方向S2に対応する。センサ部103aにおける方向U1は、試料1上の走査の方向S1に対応する。この方向U1は、シリンドリカルレンズ1025, 1020, 1026で構成されるシリンドリカルズーム光学系の倍率によって、その角度が変化する。

[0128] シリンドリカルズーム光学系の倍率が大きくなるほど、方向U1と方向U2との成す角度は直角に近づく。TDIセンサであるセンサ部103aは、方向U2に対して直角な短手方向に積分露光するので、方向U1が方向U2に対して直角に近づく、光学像22の撮像データのブレが少なくなり、解像度が向上する。

[0129] 一方、TDIセンサであるセンサ部103aの走査速度と、光学像22の移動速度とがずれると、撮像データにボケが生じる。光学像22の移動速度が速く、センサ部103aに高速な走査が要求される場合には、シリンドリカルズーム光学系の倍率を低くし、光学像22の移動速度を遅くするとよい。本発明の構成では、シリンドリカルズーム光学系の方向 δ_1 （長手方向）の倍率を変えると、光軸121とセンサ部103aの法線とのなす角度が一定の場合に焦点ずれが発生する。そのため、シリンドリカルズーム光学系の方向 γ （短手方向）の倍率だけを変化させるとよい。

[0130] シリンドリカルズーム光学系の方向 γ （短手方向）の倍率を低くすると、

方向S 1と方向S 2とのなす角度は直角からずれる。これとともに照明スポット20のセンサ部103での光学像23の線幅も狭まるため、撮像データのボケは発生しない。

[0131] 照明スポット20のセンサ部103での光学像23の線幅が、センサ部103の画素サイズよりも小さくなると、実質的にTDIは電荷の蓄積段数が1と等価になるため、TDIのラインレート不足に起因する撮像データのボケは発生しなくなる。この方式では、方向U 1と方向U 2が直交していないため、照明スポット20の線幅が太くなると、TDIセンサの積分露光による撮像データのボケの副作用が無視できなくなる。これを抑制するため、照明スポット20の線幅 s_{spot_w} は、以下のような条件を満たす必要がある。

[数11]

$$spot_w M_{spot} \cos(b) < Th P_{s2} M_{s2} \cdots (11)$$

ここに $spot_w$: 照明スポットの線幅
 M_{spot} : 照明スポットの線幅方向の撮像倍率
 b : 受光面の方向U 1と方向U 2とが成す角度
 Th : 閾値
 P_{s2} : 試料面の方向S 2に対応する画素サイズ
 M_{s2} : 方向S 2の光学倍率

[0132] 典型的には、方向S 2に対して斜めの方向から撮像する場合には、照明スポット20の幅を、試料1をセンサ103の各画素が撮像する試料面の大きさよりも狭く設定するとよい。

[0133] 《第6の実施形態》

第6の実施形態は、シリンドリカルズーム光学系の倍率を小さくして、方向U 1と方向U 2とが成す角度 b を135度にし、ラインごとに1画素ずつずらして積分露光するものである。

[0134] 図18は、方向U 1と方向U 2とが成す角度 b を135度にした場合を示す図である。

センサ部103aは、マルチラインリニアセンサであり、複数の画素が格子状に配列している。このセンサ部103aは、複数の画素の行で構成され

るライン1061-1～1061-10を含んで構成される。センサ部103aは、撮像の際にライン1061-1からライン1061-10まで順番に所定のレートで走査し、各列のCCD画素の露光値を1画素ずつずらして積分する。

[0135] シリンドリカルズーム光学系の倍率を小さくして、照明スポット20の線幅を太くすると、センサ部103の受光面における方向U1と方向U2とが成す角度bが直角からずれる。そのため、センサ部103の短手方向に積分露光すると、ライン1061-1～1061-10間で光学像22が方向U2にシフトし、撮像データのボケが発生する。

[0136] そこで、第6の実施形態では、シリンドリカルズーム光学系の倍率を小さくして、方向U1と方向U2とが成す角度bを135度に行している。そして、センサ部103aの各ラインが検出した検出光量データを、以下の式(12)のように統合する。

[数12]

$$d(x,t) = \sum_l \{W(l) \times I(x - l\Delta x, l, t - l\Delta P)\} \cdots (12)$$

ここに、

$d(x,t)$: センサの検出光量

x : 方向U2における位置

t : 離散化されたサンプリングタイミング

Δx : 方向U2においてライン間でシフトする変位

l : センサのライン番号

ΔP : センサ面のビームスポットのサンプリングタイミング毎の走査ピッチ

[0137] 式(12)で示された各ラインの重み $W(l)$ は、以下の式(13)で算出される。

[数13]

$$W(l) = \sum_x \frac{\bar{I}(x,l)}{\bar{I}(x,l) + N^2} \cdot \cdot \cdot (13)$$

ここに、

$W(l)$: ラインの重み

x : 方向U2における位置

t : 離散化されたサンプリングタイミング

Δx : 方向U2においてライン間でシフトする変位

l : センサのライン番号

ΔP : センサ面のビームスポットのサンプリングタイミング毎の走査ピッチ

N : センサの電気ノイズ

$\bar{I}(x,l)$: 番号1、ラインの位置 x における光強度の時間平均

[0138] 図20は、これを算出する各部を模式的に示したブロック図である。

ライン1061-1～1061-10は、センサ部103を構成する各ラインである。ライン1061-1～1061-10に属する各画素の検出光量データは、ラインレートのサンプリング周期に合わせてバッファ1062-1～バッファ1062-10に出力される。バッファ1062-1～バッファ1062-10は、所定時間分の各検出光量データを一次的に格納するメモリであり、所定時間分の各検出光量データを時間平均算出部1063-1～1063-10に出力する。

[0139] 時間平均算出部1063-1～1063-10は、所定時間分の各検出光量データの時間平均を算出し、重み決定部1064に出力する。

重み決定部1064は、式(13)に基づき、各ラインの重みを算出する。マルチラインセンサ統合器1065は、式(12)に基づき、各ラインの重みに応じてラインごとの光量データを1画素ずつずらして加算し、撮像データを統合する。

[0140] 本実施形態のセンサ部103は、試料面の高さ変動が発生しても照明スポット20の光学像22が受光部1031からずれないように、照明スポット

20の幅を広げている。このとき、照明がされないラインのデータを取得しても、センサノイズしか検出できない。そこで、マルチラインセンサからデータを取得したのち、各ラインでの検出光量データを算出し、検出光量の弱い領域では重みを弱くすることでノイズを除外して感度の向上を図っている。

[0141] なお、各ラインの重みは式(13)に限定されず、検知光量の総和が小さいラインを検出しない設定でもよい。これは、検知光量が小さいラインのゲインを0にする処理と等価である。

[0142] 第5の実施形態ではTDIの蓄積段数間の電荷移動は一段ずつ転送されるのに対して、このマルチラインセンサを用いた第6の実施形態では、サンプリングタイミング毎の照明ビームスポットのセンサ面での移動間隔を ΔP で表している。このため、ラインピッチよりも大きい場合にも対応が可能であり、このピッチを変更することにより柔軟な検査が実現できる。高感度検査では ΔP を小さく、高速検査では ΔP を大きく設定している。

[0143] 式(12)に示されるように、高感度検査に対応する ΔP が1の場合には、隣接したライン間での出力が加算されるが、高速検査に対応する ΔP が1を超える場合には、隣接したライン間は加算が行われなくなる。この加算により、第5の実施形態とは異なり、シリンドリカルズーム光学系がなくても、撮像データのボケが少ない状態で高スループットの検査が実現できる。

産業上の利用可能性

[0144] 本発明は、半導体デバイスの製造工程において、半導体ウェハの表面に付着した異物欠陥を検査する検査工程において利用することができる。

符号の説明

- [0145]
- 1 試料
 - 2 レーザ光源
 - 4 出射光調整部 (照明走査手段)
 - 5 ビームエキスパンダ
 - 6 偏光制御部

7 集光光学部

5 2 0 0 信号処理部

5 3 制御部

5 4 表示部

5 5 入力部

9 1 集光レンズ

9 2 結像レンズ

9 3 二次元センサ

1 0 1 照明部 (照明光学系)

1 0 2 - 1, 1 0 2 - 2, 1 0 2 - 3 集光検出部

1 0 3 - 1, 1 0 3 - 2, 1 0 3 - 3 センサ部

1 0 3 1 受光部 (受光面)

1 0 3 2 配線部

1 0 3 3 反射防止膜

1 0 4 - 1, 1 0 4 - 2, 1 0 4 - H, 1 0 4 - V センサシフト手段

1 0 5 ステージ

1 0 6 1 - 1 ~ 1 0 6 1 - 1 0 ライン

1 0 6 2 - 1 ~ 1 0 6 2 - 1 0 バッファ

1 0 6 3 - 1 ~ 1 0 6 3 - 1 0 時間平均算出部

1 0 6 4 重み決定部

1 0 6 5 マルチラインセンサ統合器

請求の範囲

[請求項1]

試料表面に線状の照明スポットを照射する照明光学系と、
前記試料表面を移動させて、前記線状の照明スポットを前記照明スポットの短手方向に走査する照明スポット走査手段と、
前記試料表面からの前記照明スポットの反射光を集光して入射した光の偏光状態を制御して光学像を形成する集光検出部と、
前記集光検出部による前記照明スポットの光学像を電気信号として出力し、前記試料表面に照射された前記照明スポットと共役の位置にアレイ状の受光部と反射防止膜とを備えるセンサ部と、
を備える欠陥検査装置であって、
前記集光検出部の光軸と前記試料に照射した前記線状の照明スポットの長手方向の成す第1角度は10度以上かつ80度未満であり、
前記集光検出部は、前記センサ部の受光部の検出光量を大きくする方向の直線偏光を前記センサ部に出力する偏光制御部を備える、
ことを特徴とする欠陥検査装置。

[請求項2]

試料表面に線状の照明スポットを照射する照明光学系と、
前記試料表面を移動させて、前記線状の照明スポットを前記照明スポットの短手方向に走査する照明スポット走査手段と、
前記試料表面からの前記照明スポットの反射光を集光して入射した光の偏光状態を制御して光学像を形成する集光検出部と、
前記集光検出部による前記照明スポットの光学像を電気信号として出力し、前記試料表面に照射された前記照明スポットと共役の位置にアレイ状の受光部と反射防止膜とを備える第1、第2のセンサ部と、
を備える欠陥検査装置であって、
前記集光検出部の光軸と前記試料に照射した前記線状の照明スポットの長手方向の成す第1角度は10度以上かつ80度未満であり、
前記集光検出部は、前記集光検出部に入射される反射光を第1の偏光成分の光と第2の偏光成分の光とに分岐させて、夫々第1の光路と

第2の光路に導く偏光分離ユニットと、

前記第1の光路に導かれた光の偏光方向を変換して前記第1のセンサ部に導く第1の偏光方向変換ユニットと、

前記第2の光路に導かれた光の偏光方向を変換して前記第2のセンサ部に導く第2の偏光方向変換ユニットと、

を含む、

ことを特徴とする欠陥検査装置。

[請求項3] 前記集光検出部は、前記受光部の短手方向の結像倍率を長手方向の結像倍率よりも大きくする、

ことを特徴とする請求項1または2に記載の欠陥検査装置。

[請求項4] 前記反射防止膜は、前記照明光学系が照射する波長の光であり、かつ、前記集光検出部が出力する偏光方向の光において、前記受光部の法線方向から入射した光の吸収率よりも、前記集光検出部の光軸方向から入射した光の吸収率が高い、

ことを特徴とする請求項1または2に記載の欠陥検査装置。

[請求項5] 前記受光部のアレイの並び方向と前記集光検出部の光軸との成す第2角度は10度以上80度未満であり、前記第2角度は前記第1角度よりも小さく、前記第2角度と前記第1角度との差が5度以上である、

ことを特徴とする請求項1または2に記載の欠陥検査装置。

[請求項6] 前記センサ部は、二次元のアレイ状の受光部を備え、

前記受光部の長手方向のアレイに含まれる第1のラインを第1のタイミングに取得した信号と、前記第1のラインとは異なる第2のラインを第2のタイミングで取得した信号とをとする信号演算部を更に備える、

ことを特徴とする請求項1に記載の欠陥検査装置。

[請求項7] 前記照明スポット走査手段は、前記第1のタイミングから前記第2のタイミングまでに、前記第1のラインと前記第2のラインが撮像す

る試料表面上の距離だけ前記試料を前記照明スポットの短手方向に移動させる、

を特徴とする請求項 6 記載の欠陥検査装置。

[請求項 8] 前記第 1 のラインと前記第 2 のラインとは所定距離だけ離れており、

前記照明スポット走査手段は、前記第 1 のタイミングから前記第 2 のタイミングまでの間に前記試料の光学像が短手方向に前記所定距離だけ移動するように、前記試料を走査する、

ことを特徴とする請求項 6 記載の欠陥検査装置。

[請求項 9] 前記集光検出部は、前記照明スポット走査手段が走査する前記試料の光学像の前記受光部上での移動距離が、前記所定距離と等しくなるように前記照明スポットの短手方向の倍率を設定する、

ことを特徴とする請求項 8 記載の欠陥検査装置。

[請求項 10] 前記受光部は、該受光部の出力電気信号を伝送する配線層に対して光の入射側に配置される、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の欠陥検査装置。

[請求項 11] 前記反射防止膜は、前記照明光学系が照射する波長の光において、前記受光部の法線方向から入射した光の受光部における吸収率よりも、前記光軸方向から入射した光の受光部における吸収率が高い、

ことを特徴とする請求項 1 記載の欠陥検査装置。

[請求項 12] 前記照明光学系から照射する波長は、240 nm から 293 nm のうち何れかであり、

前記反射防止膜は、膜厚が 21 nm 以上 30 nm 以下の 1 層の HfO_2 、または膜厚が 21 nm 以上 30 nm 以下の 1 層の Si_3N_4 で形成される、

ことを特徴とする請求項 7 に記載の欠陥検査装置。

[請求項 13] 前記センサ部の前記受光部の光の入射側にレンズアレイを配置した、

ことを特徴とする請求項 7 に記載の欠陥検査装置。

[請求項14] 前記試料表面にて前記照明スポットを走査する照明走査手段を更に備える、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の欠陥検査装置。

[請求項15] 照明光学系が、試料表面に線状の照明スポットを照射するステップと、

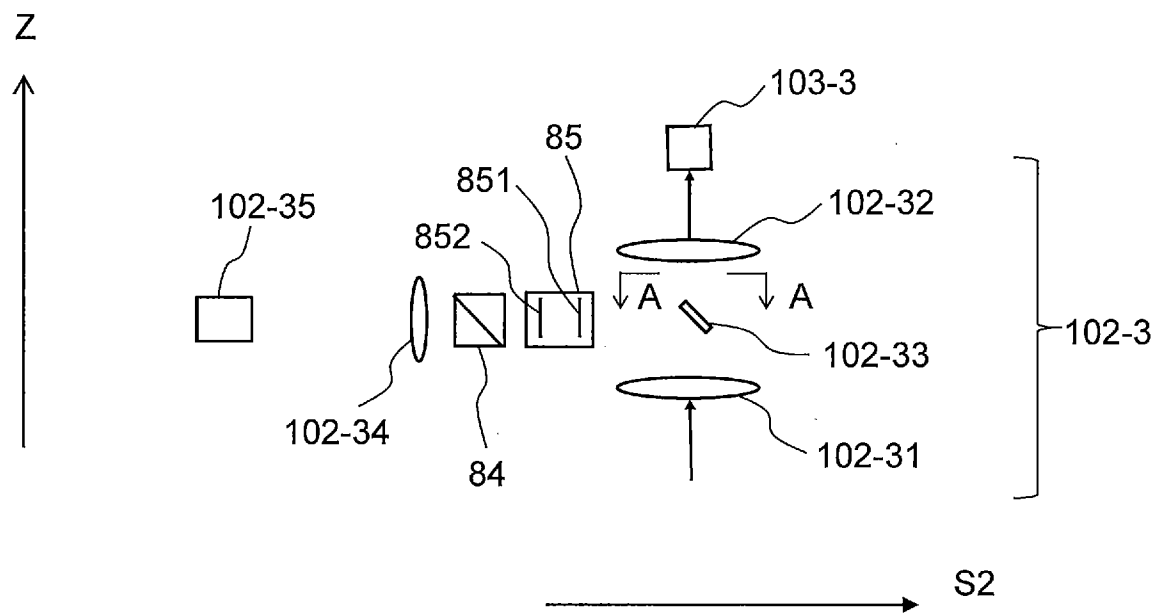
照明スポット走査手段が、前記試料を駆動して、前記線状の照明スポットを、前記照明スポットの短手方向に走査するステップと、

前記試料に照射した前記線状の照明スポットの長手方向との成す第 1 角度が 10 度以上かつ 80 度未満の光軸を有する集光検出部が、前記照明スポットの反射光を集光して、所定方向の直線偏光を出力するステップと、

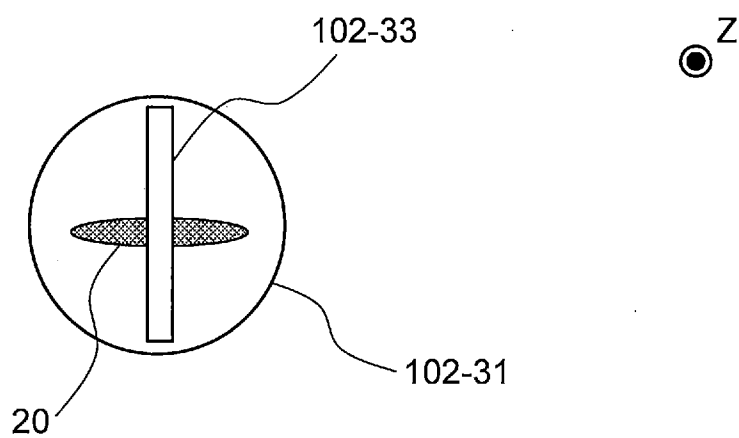
前記試料表面に照射された前記照明スポットと共役の位置にアレイ状の受光部を備え、前記所定方向の直線偏光の吸収率が高い反射防止膜が形成されているセンサ部が、前記照明スポットの光学像を電気信号として出力するステップと、

を実行することを特徴とする欠陥検査方法。

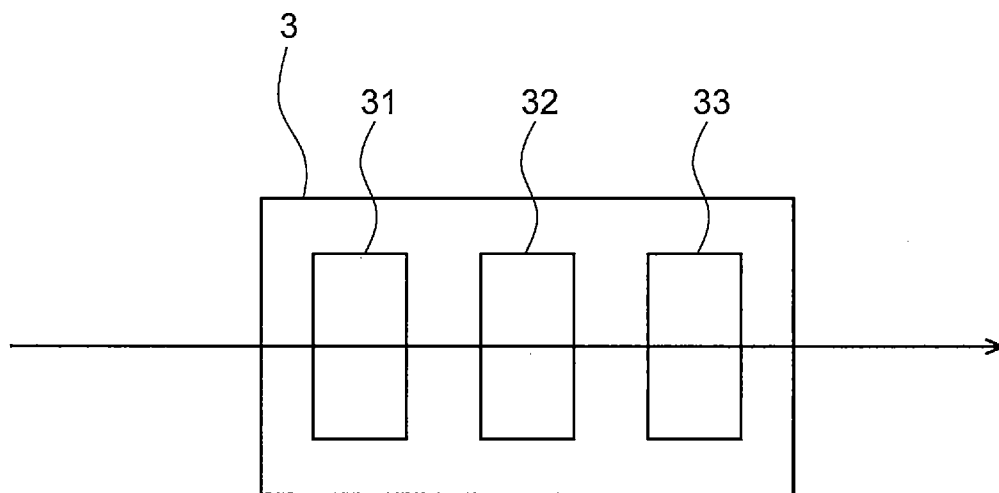
[図2A]



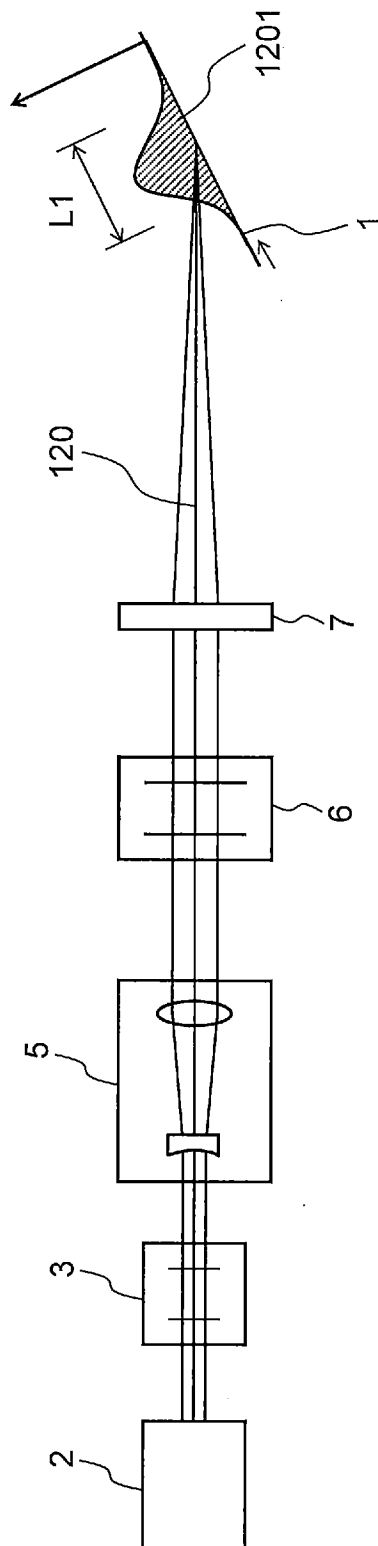
[図2B]



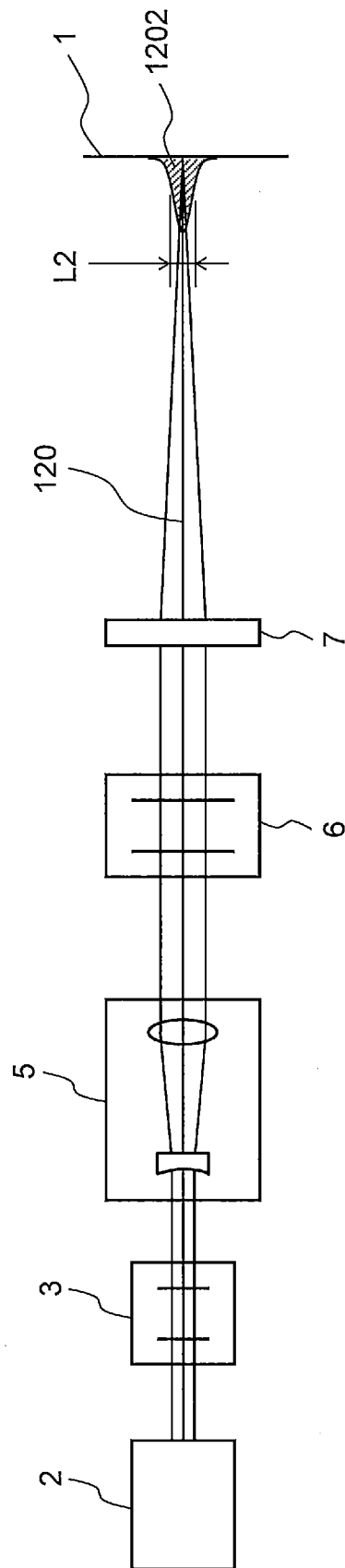
[図3]



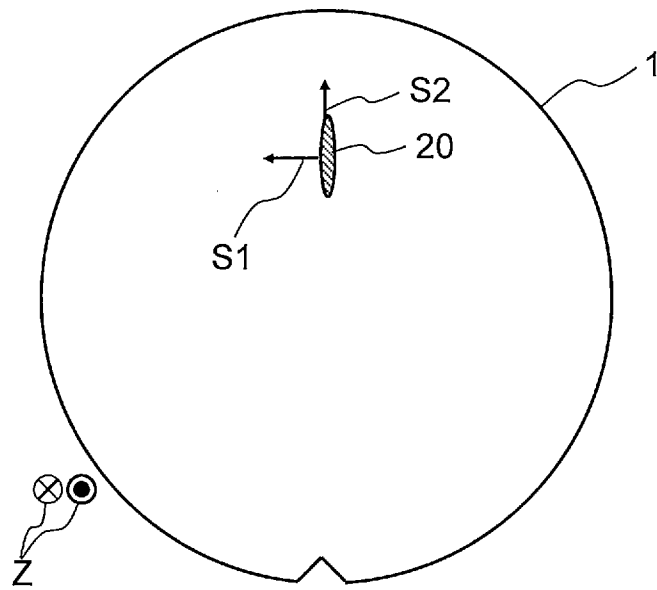
[図4]



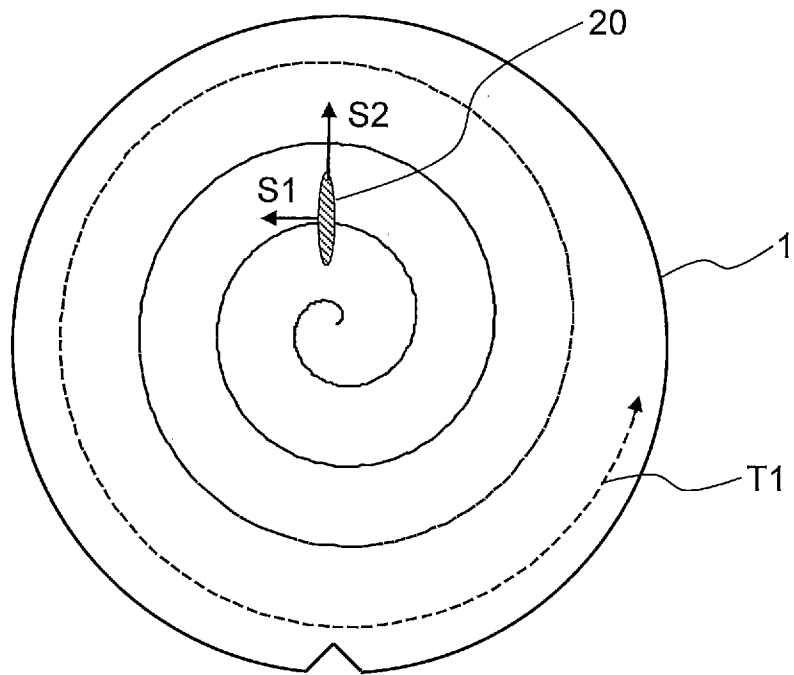
[図5]



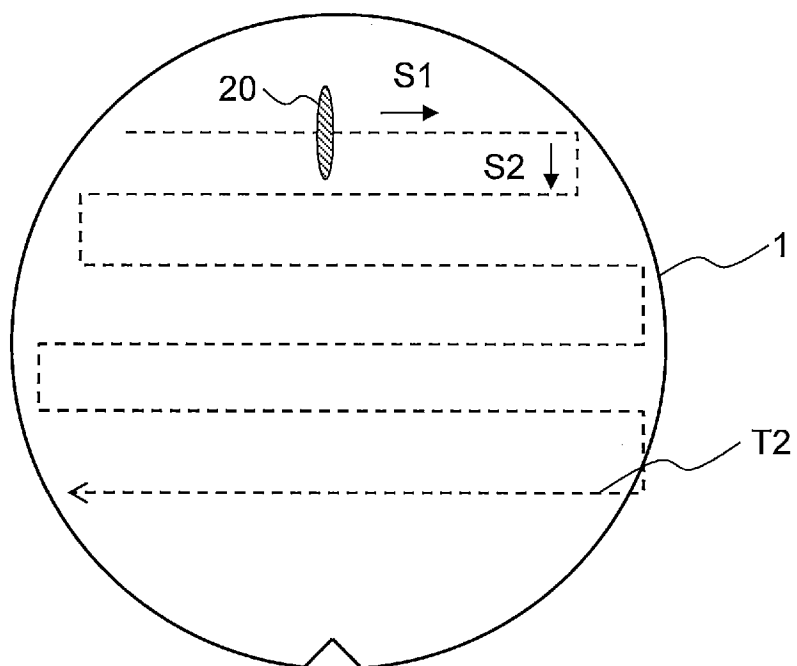
[図6]

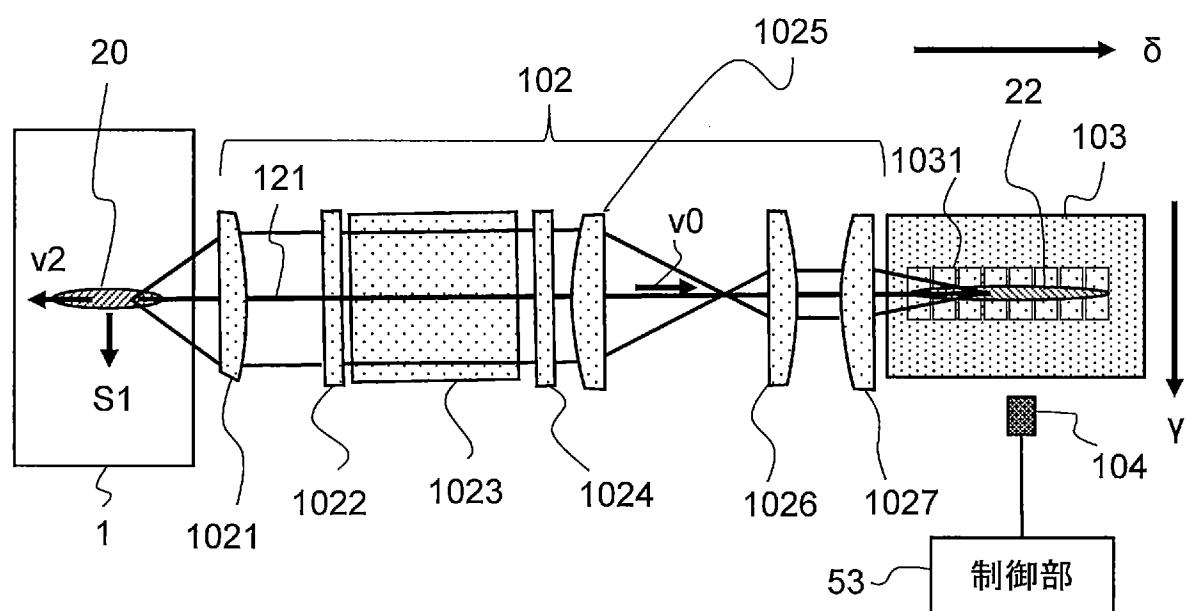


[図7]

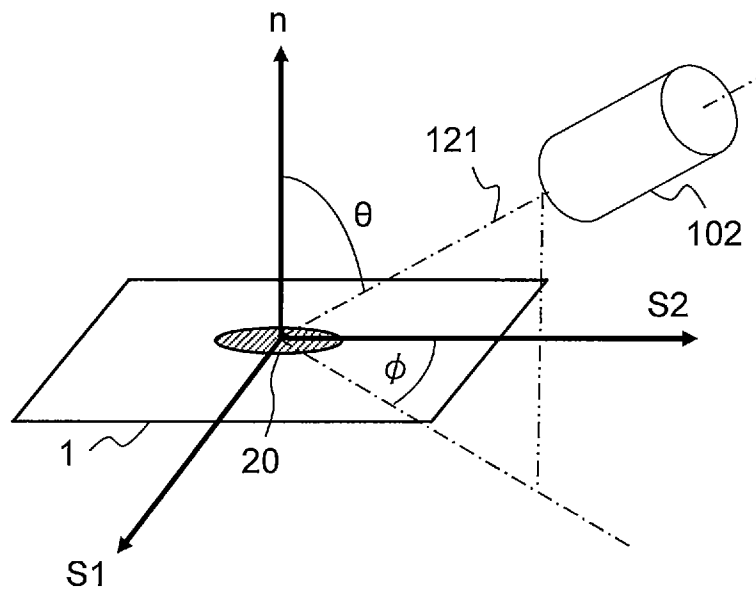


[図8]

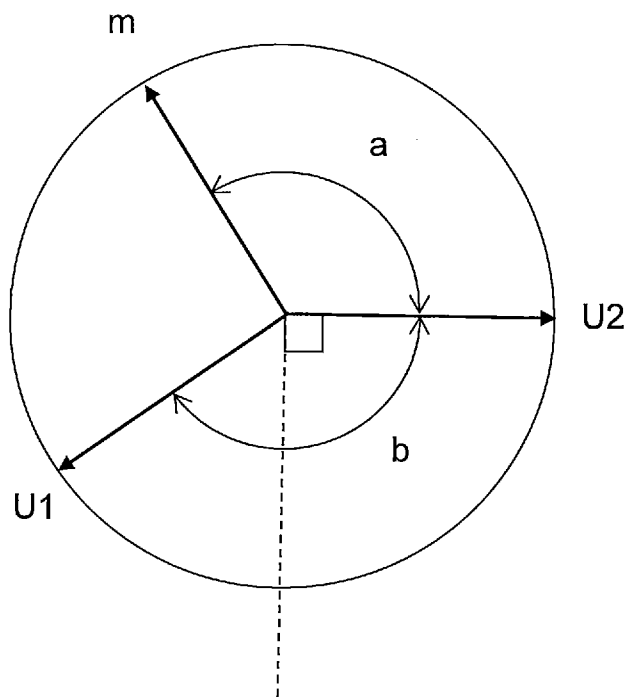




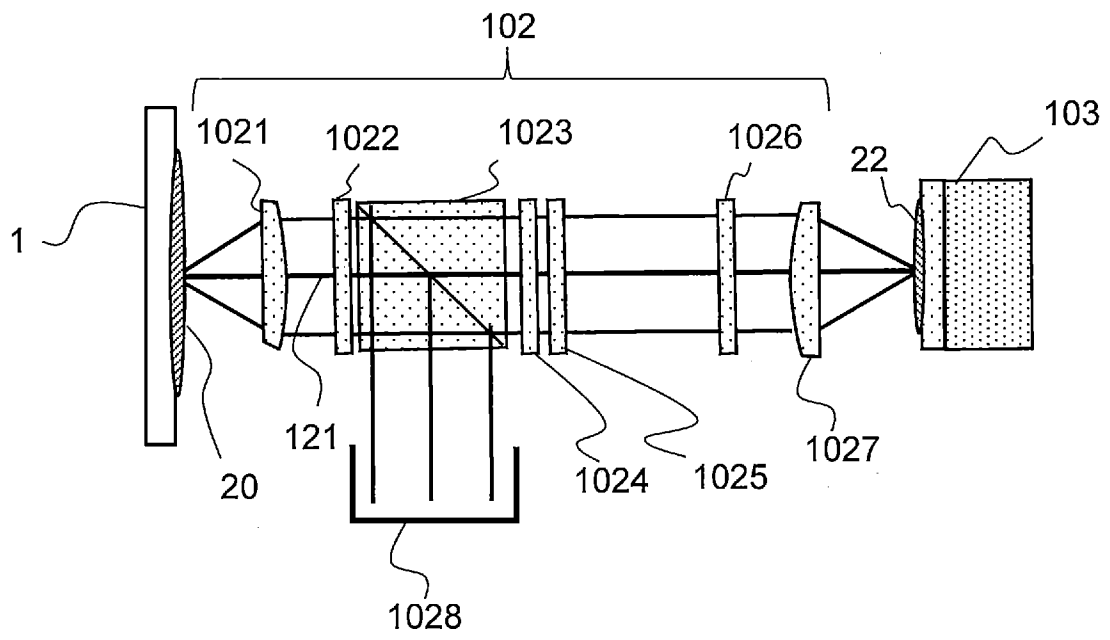
[図9C]



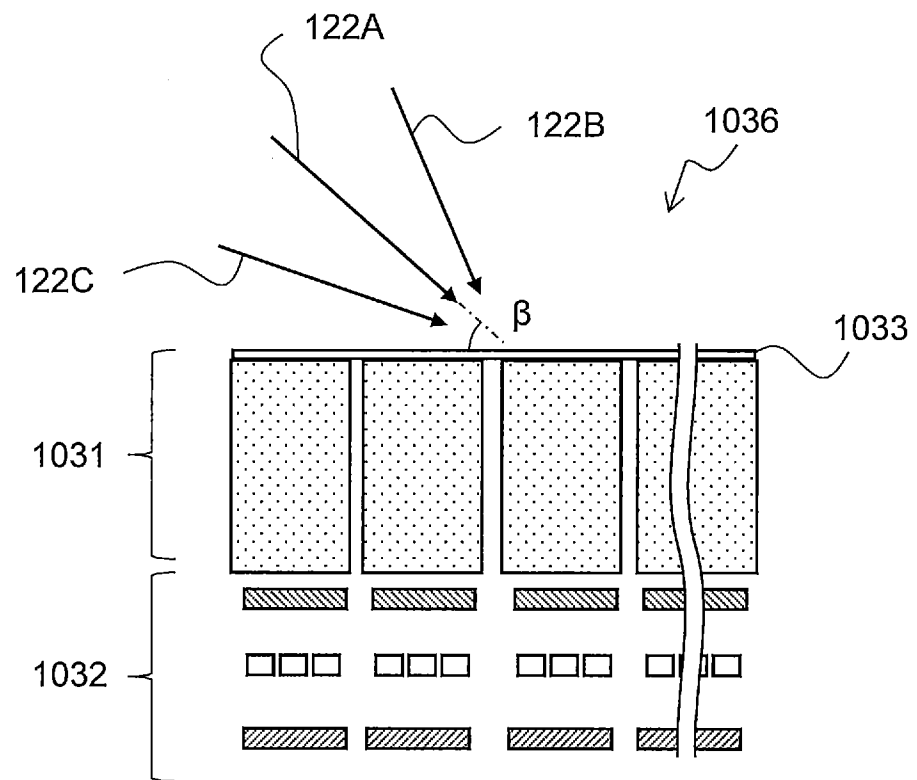
[図9D]



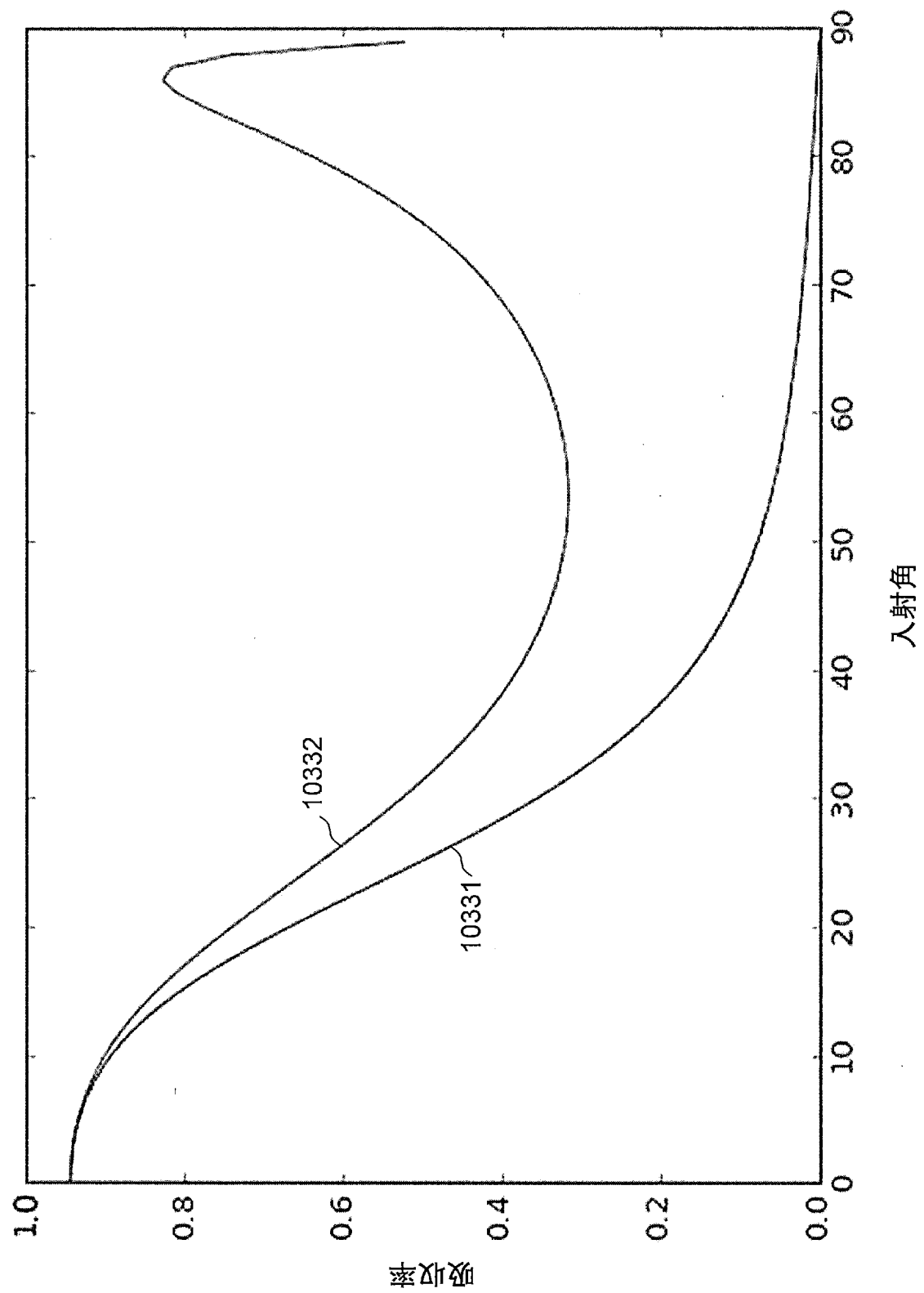
[図9E]



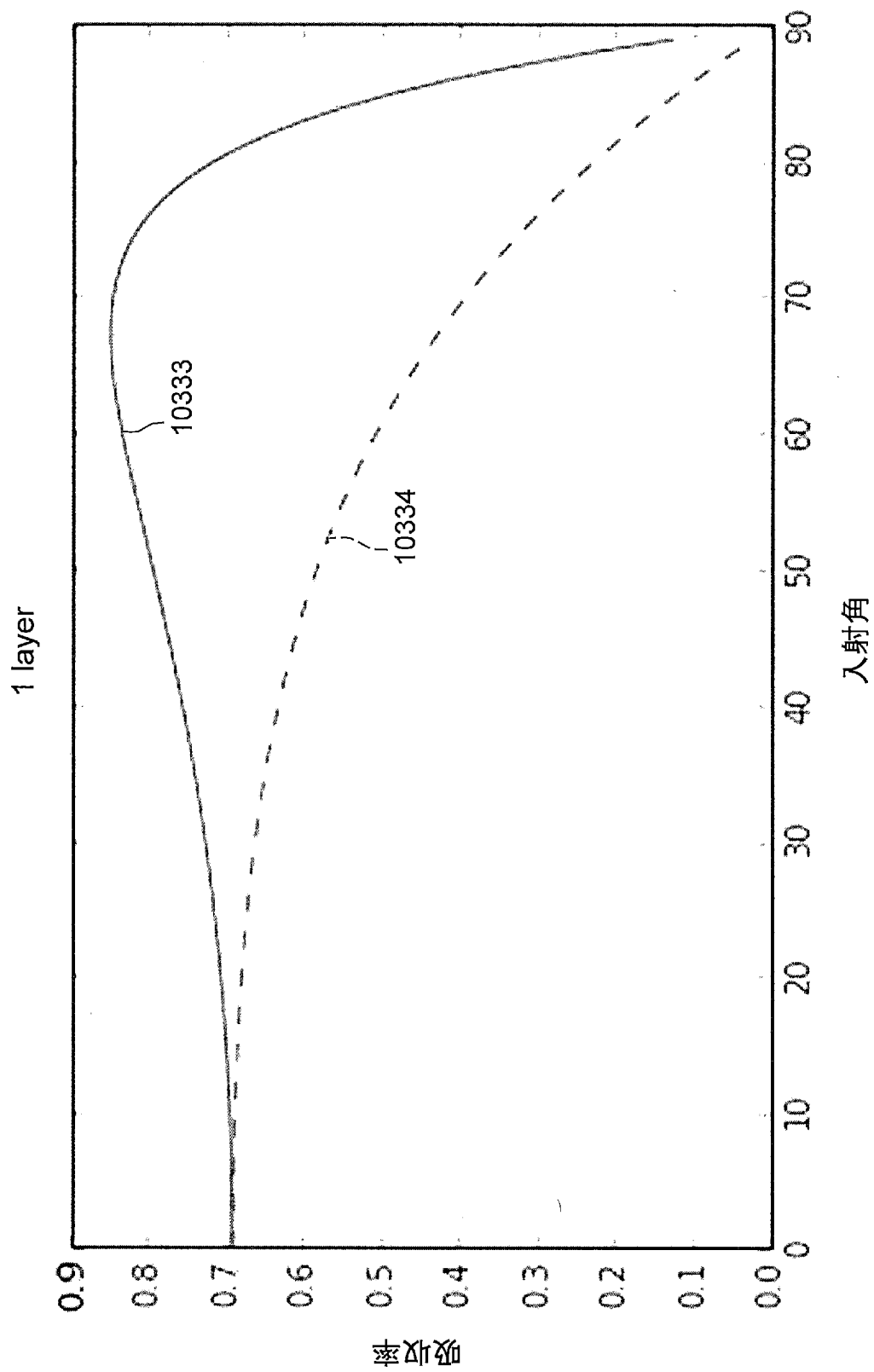
[図10]



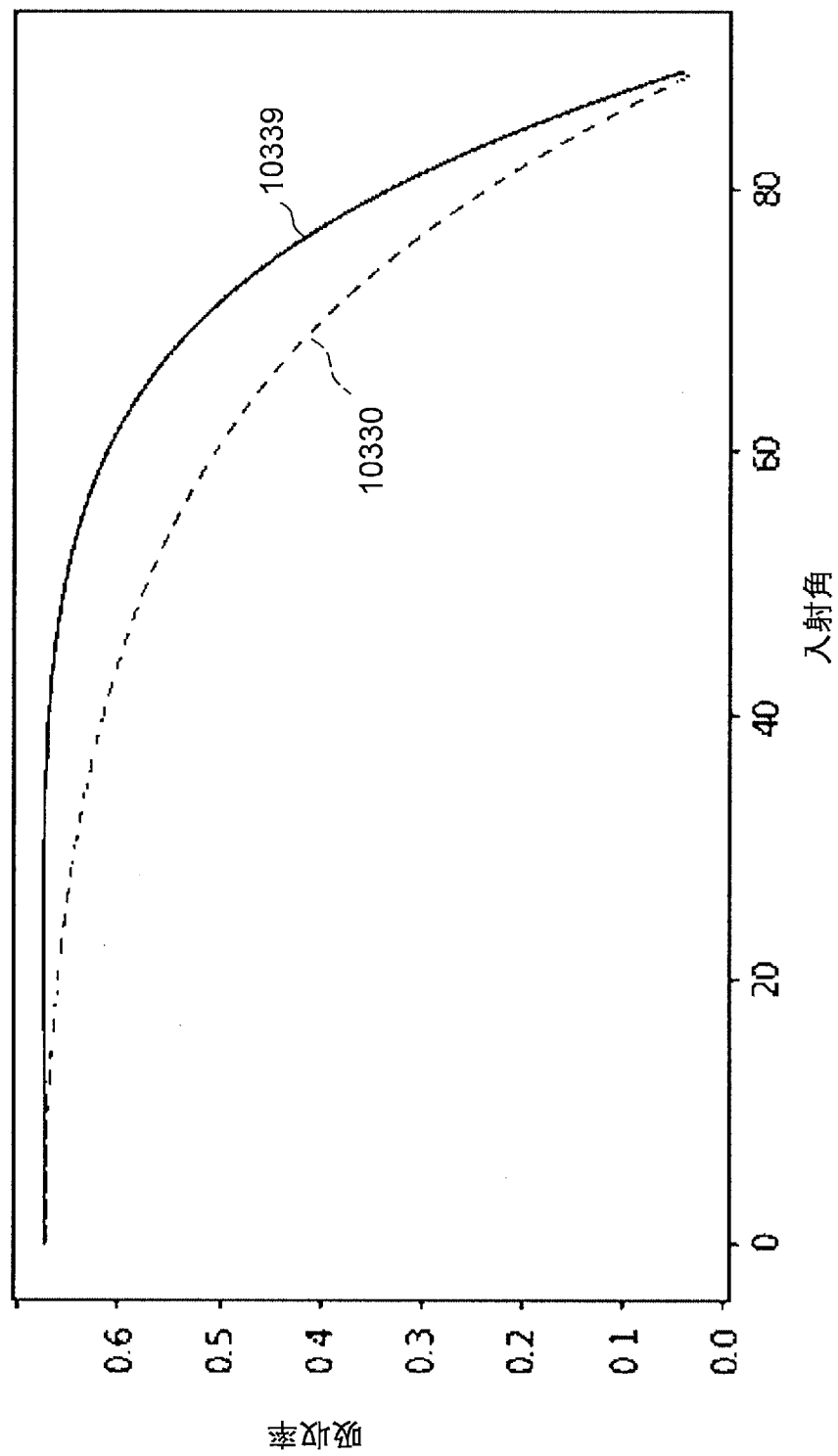
[図11]



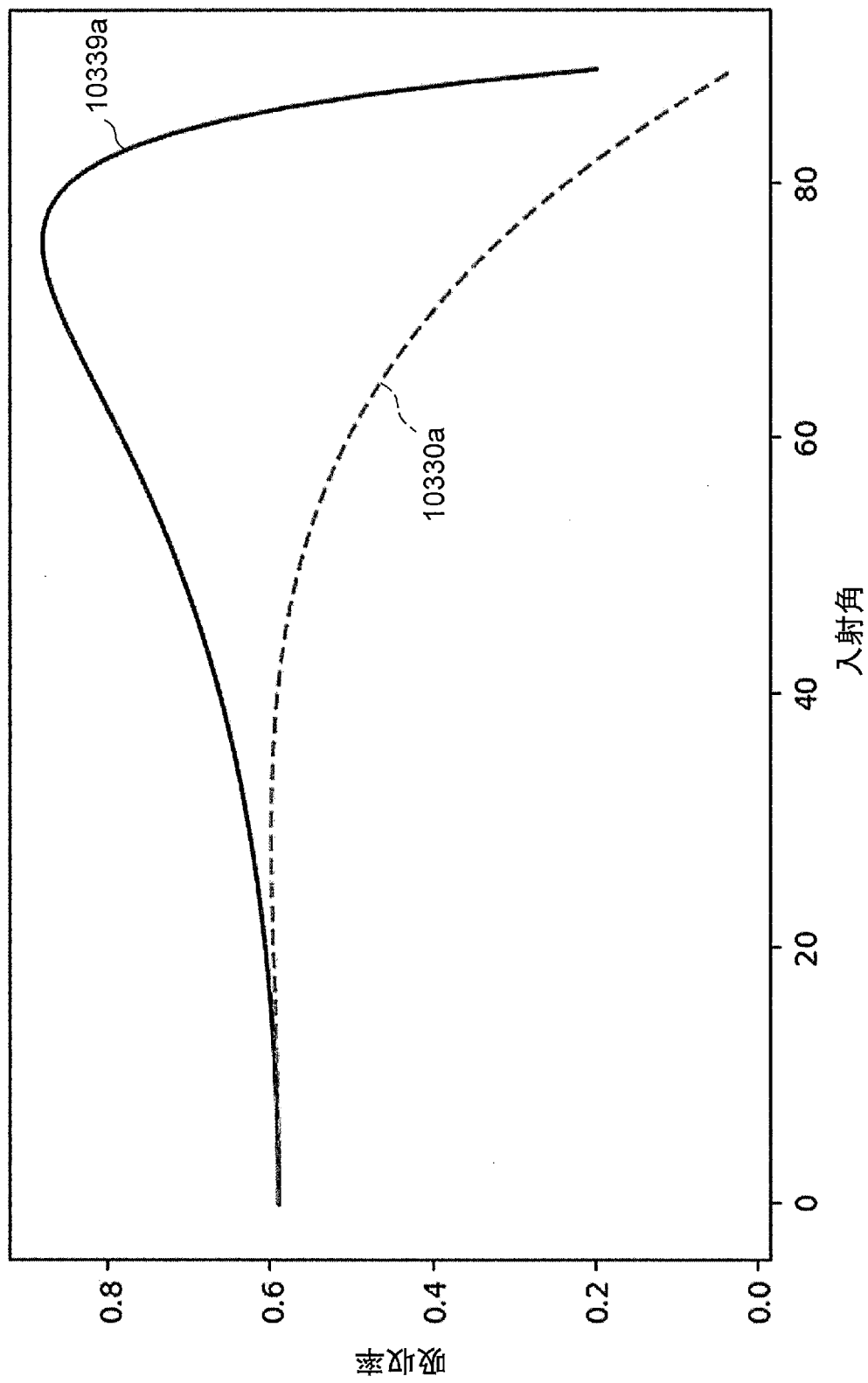
[図12A]



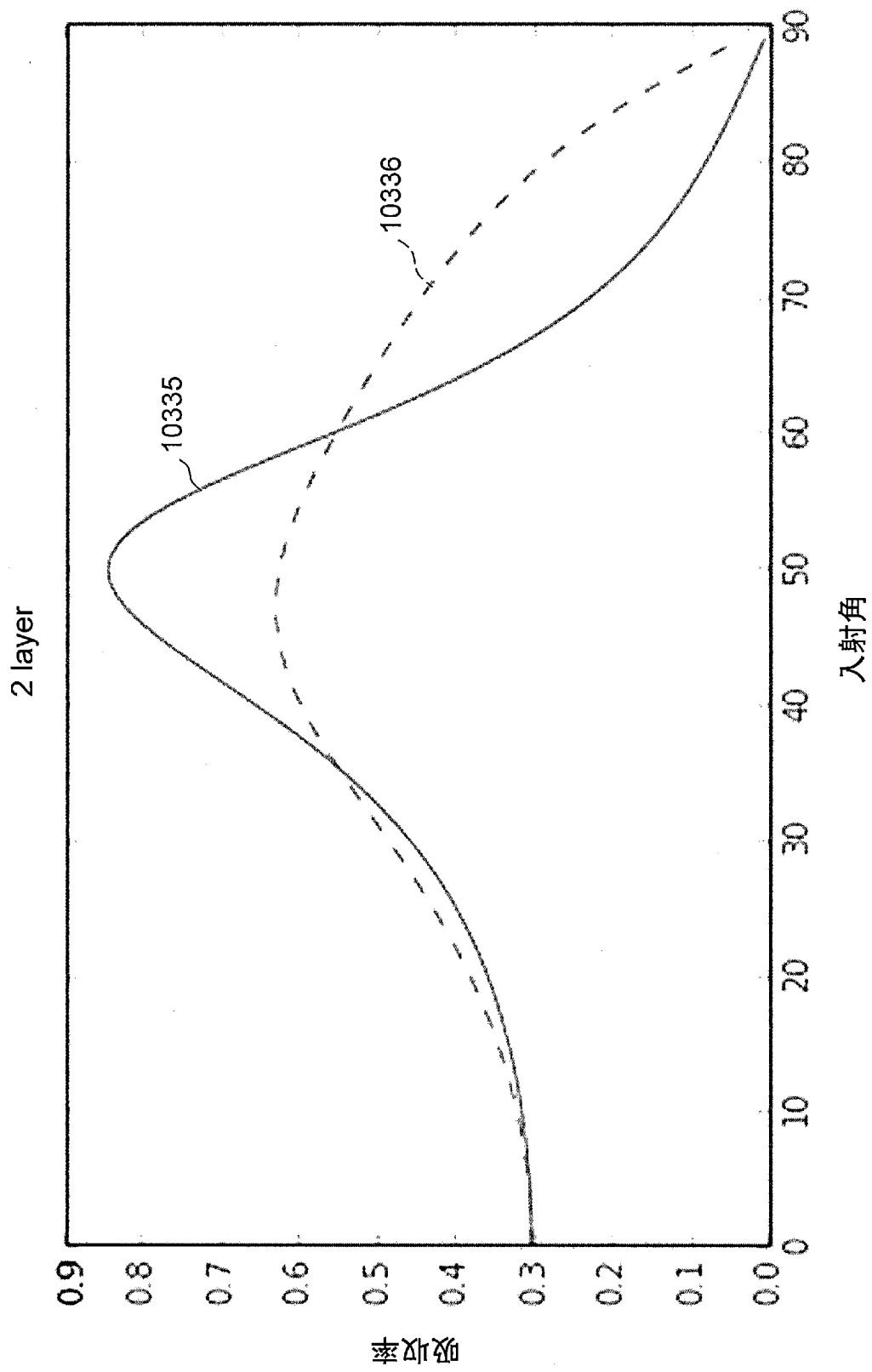
[図12B]



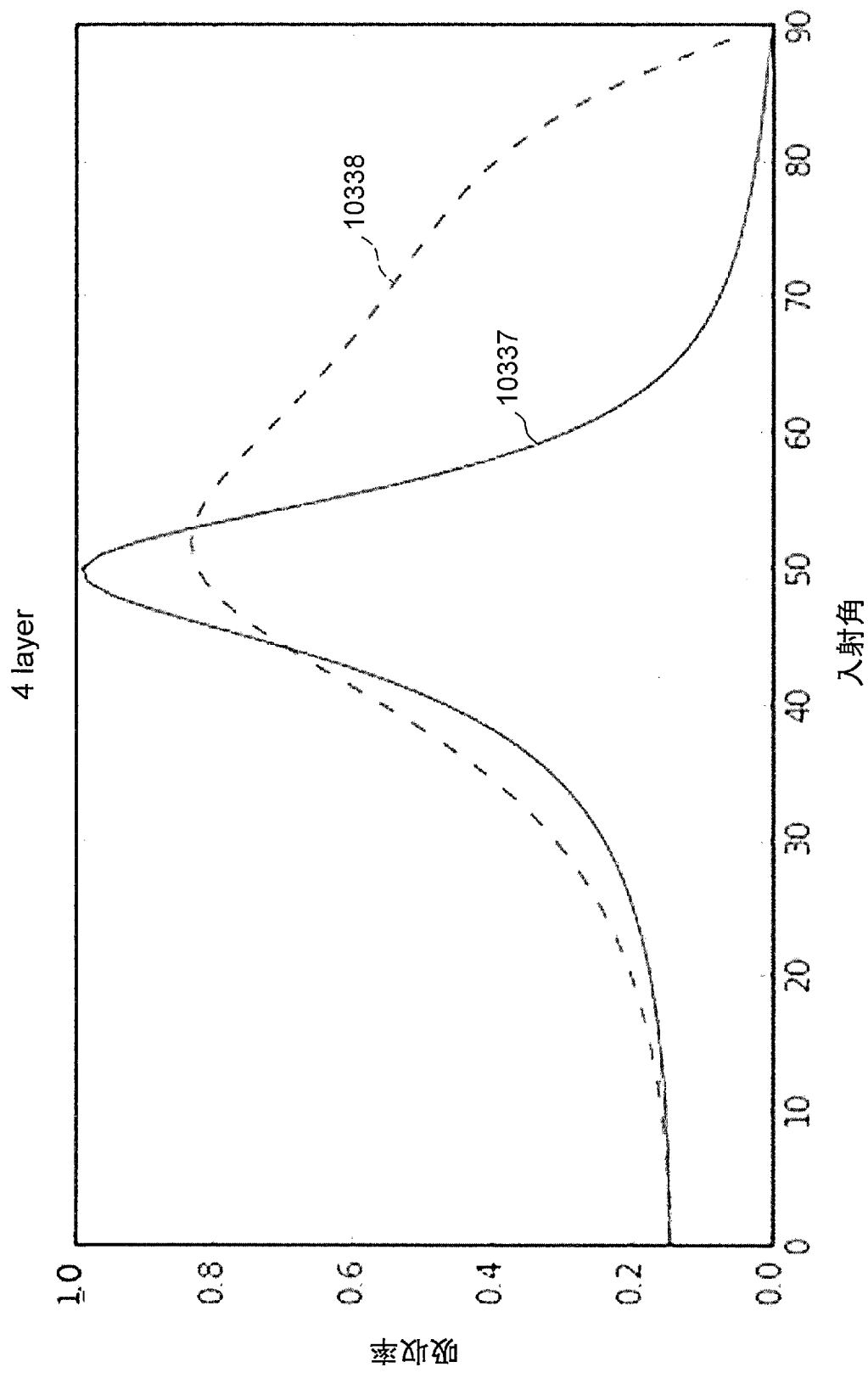
[図12C]



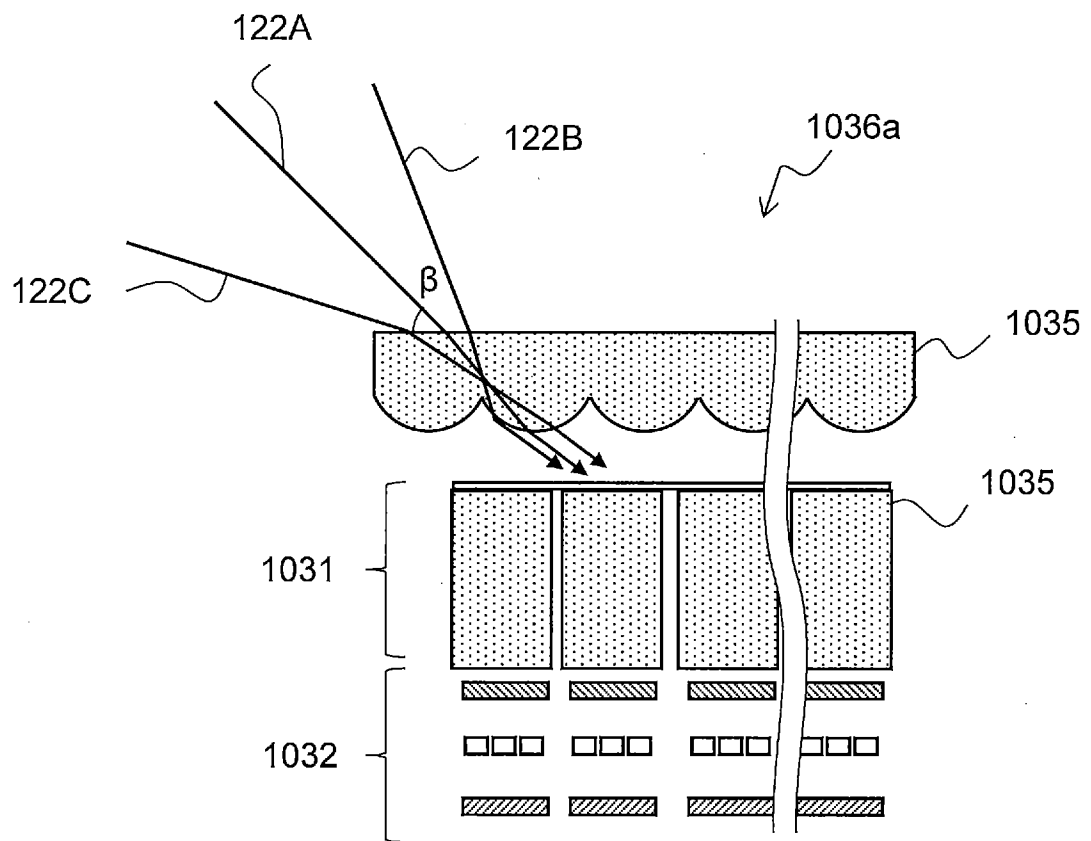
[図12D]



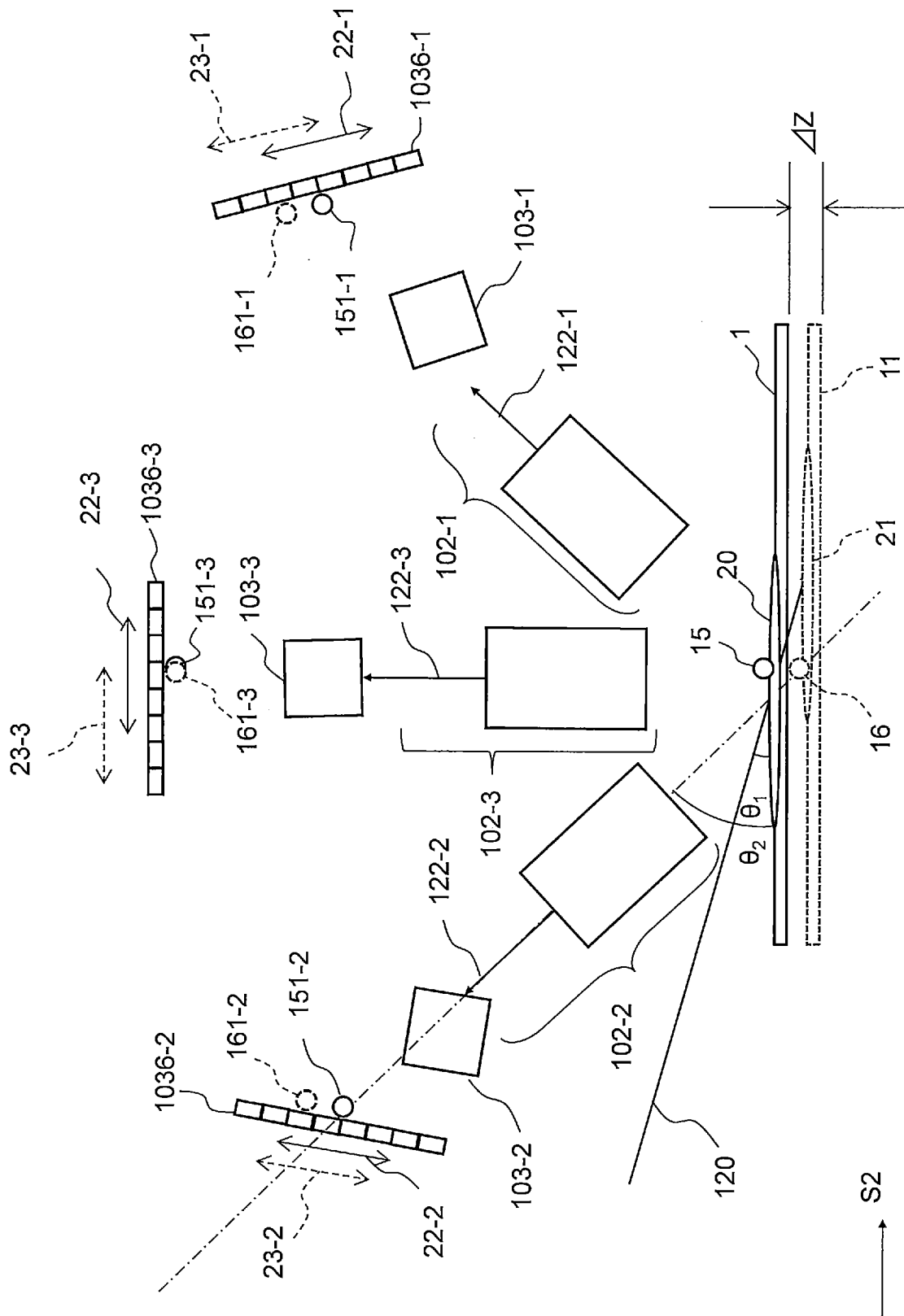
[図12E]



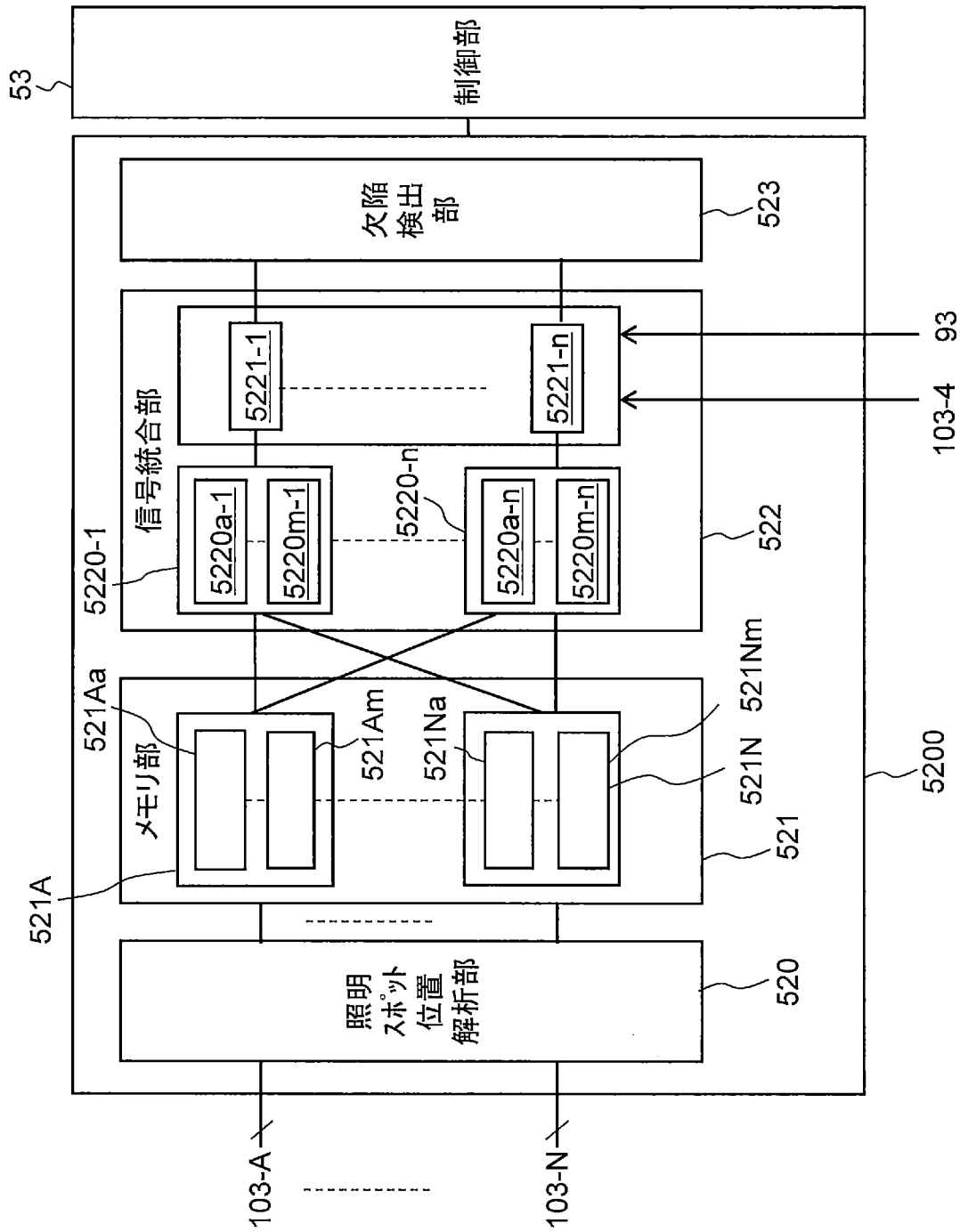
[図13]



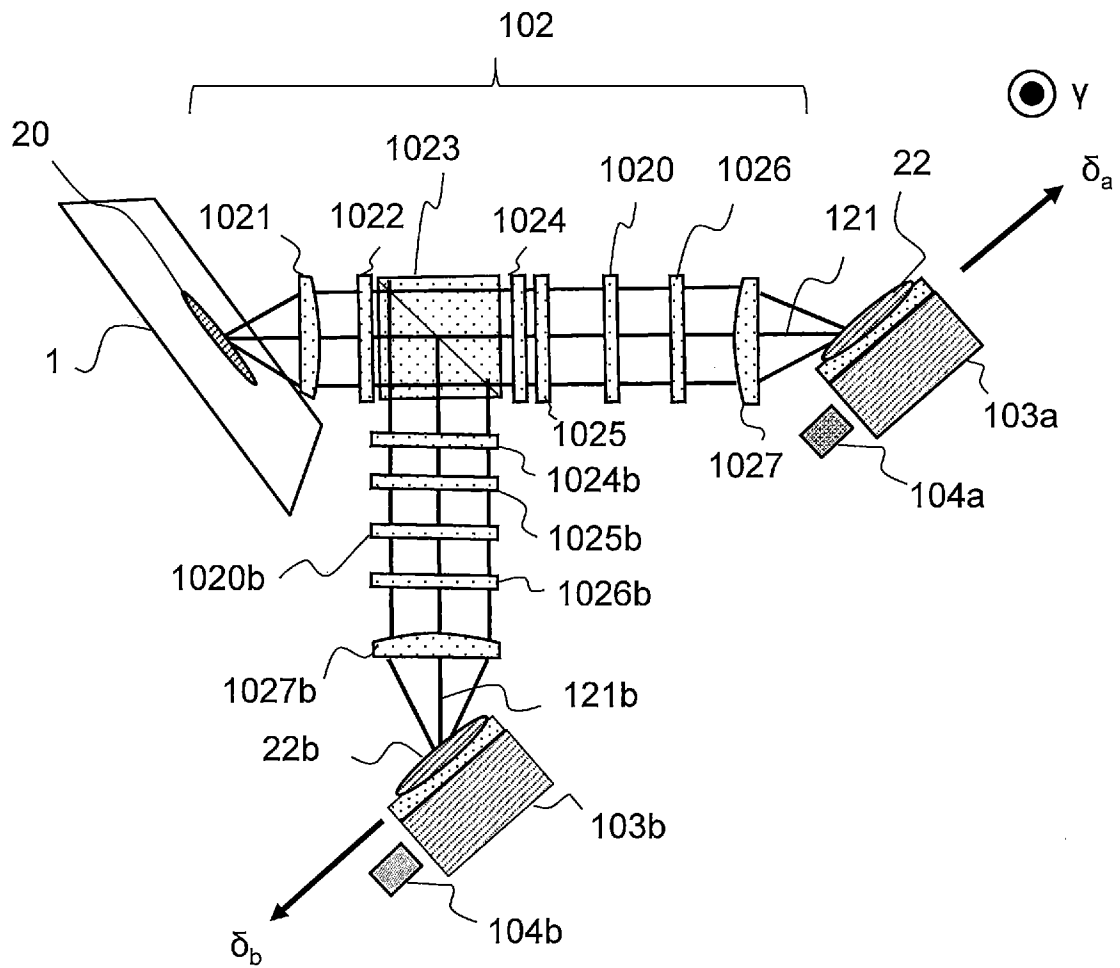
[図14]



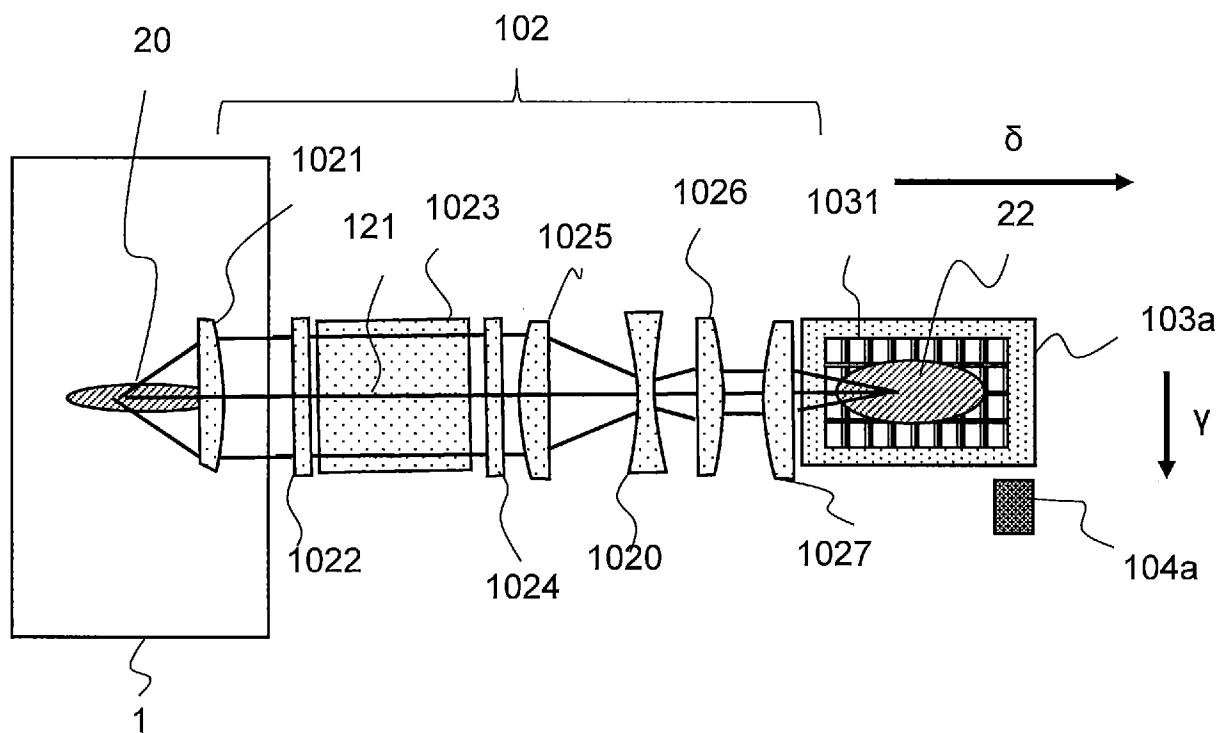
[図15]



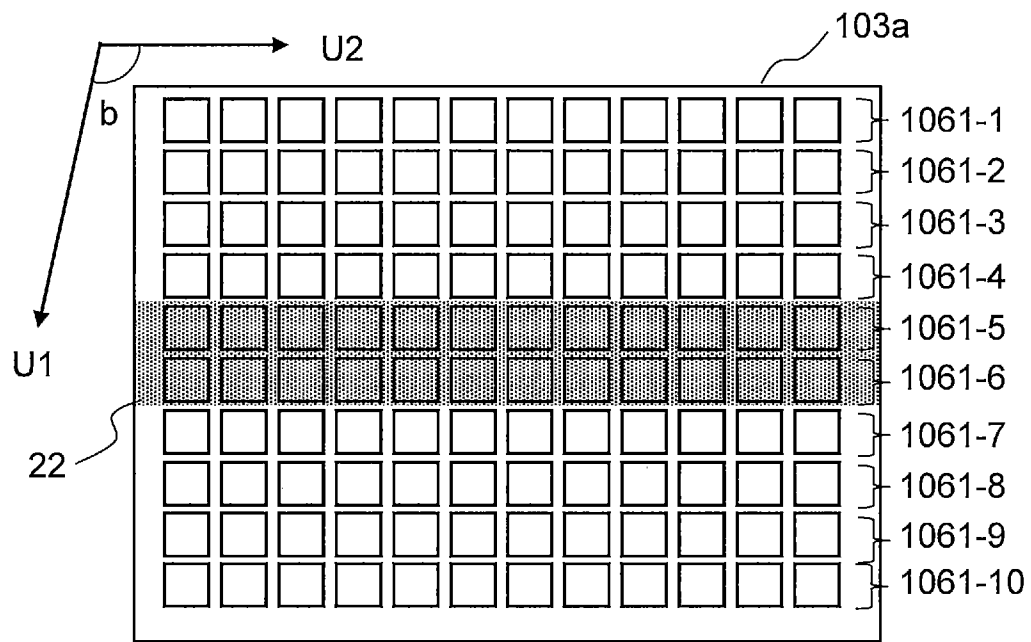
[図16A]



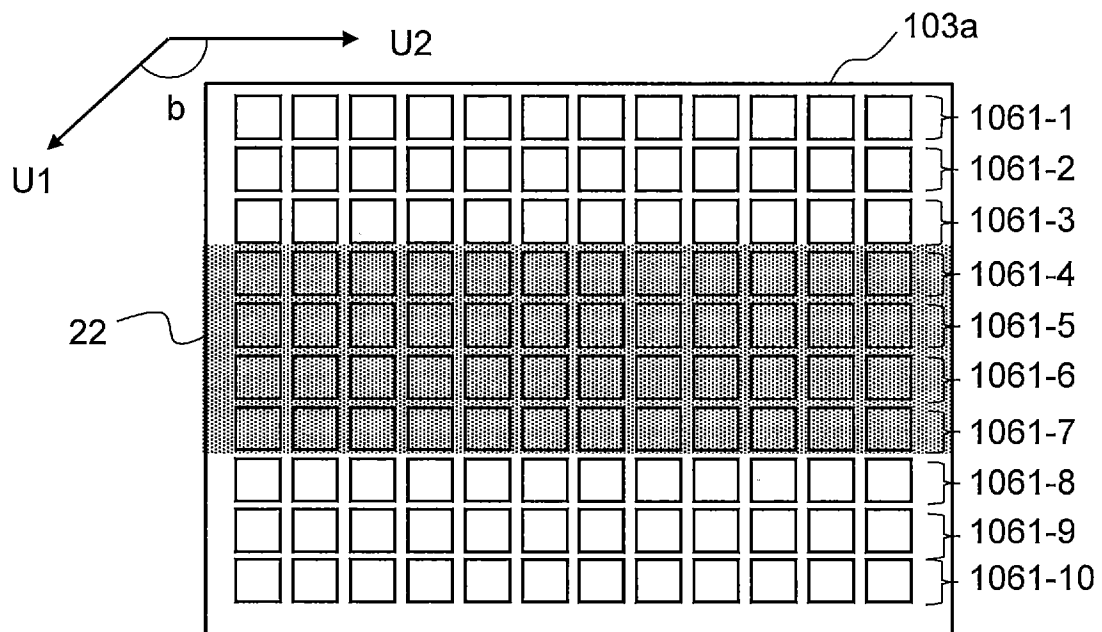
[図16B]



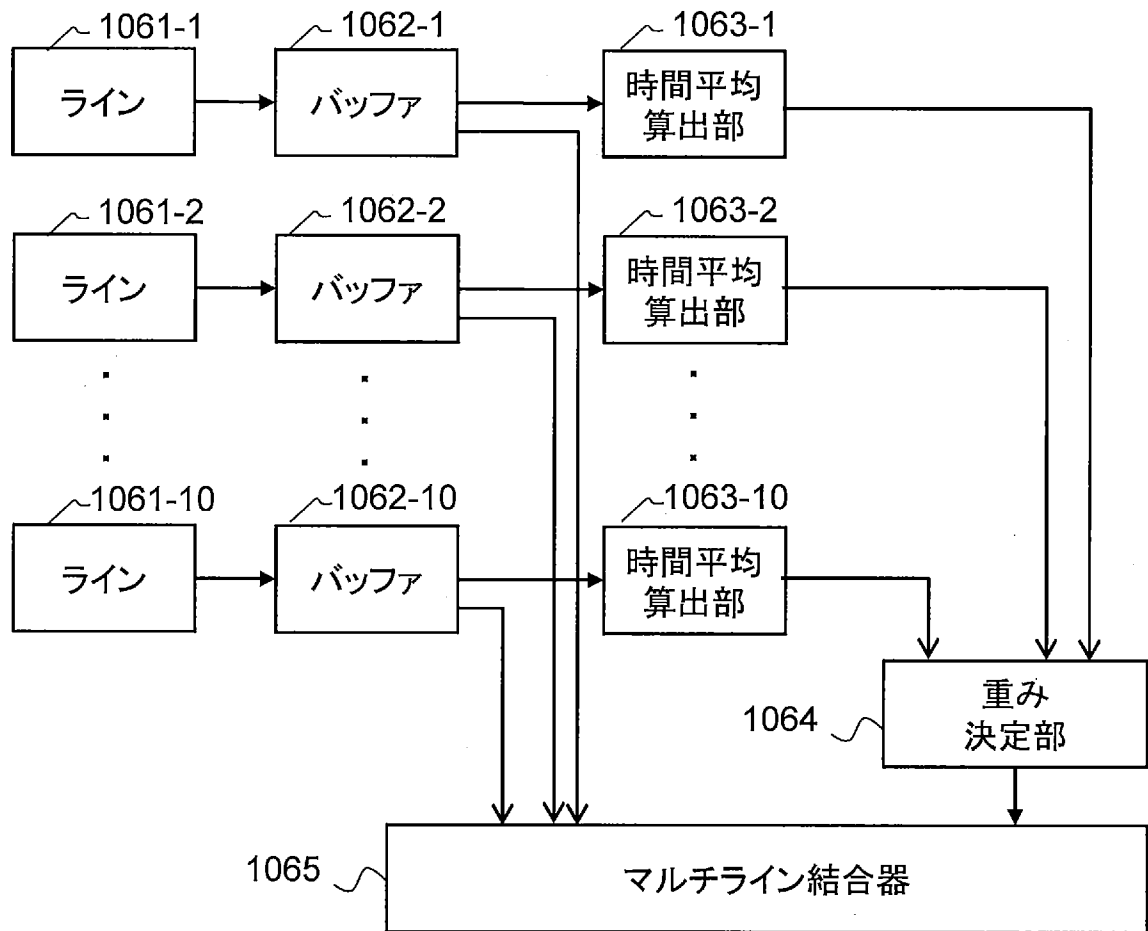
[図17]



[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/015161

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G01N21/956 (2006.01) i

FI: G01N21/956 A

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)

Int. Cl. G01N21/00-21/958, G01J1/00-5/62, H01L27/14-27/148, H01L31/00-31/20, G02B1/10-1/18

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 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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.
Y	JP 2007-33433 A (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORP.) 08 February 2007, paragraphs [0020]-[0047], fig. 1, 9-12	1-15
Y	JP 2015-197320 A (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORP.) 09 November 2015, paragraphs [0050], [0051], [0073]-[0078], fig. 6, 7, 16	1-15
Y	JP 2014-534611 A (KLA TENCOR CORP.) 18 December 2014, paragraphs [0012]-[0026], fig. 1, 2	1-15
Y	WO 2013/094121 A1 (SHARP CORP.) 27 June 2013, paragraph [0090], fig. 7	1-15



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

“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
28.07.2020

Date of mailing of the international search report
04.08.2020

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/JP2020/015161

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2013/161912 A1 (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORP.) 31 October 2013, paragraphs [0079]-[0082], fig. 22, 23	3, 13
Y	JP 10-123429 A (BUNSHI BIO PHOTONICS KENKYUSHO KK) 15 May 1998, paragraph [0041]	4, 11
A	JP 2009-236791 A (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORP.) 15 October 2009	1-15
A	JP 2016-27342 A (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORP.) 18 February 2016	1-15
A	WO 2019/064991 A1 (FUJIFILM CORP.) 04 April 2019	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/015161

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2007-33433 A	08.02.2007	US 2006/0290923 A1 paragraphs [0075]- [0103], fig. 1, 9-12	
JP 2015-197320 A	09.11.2015	US 2017/0146463 A1 paragraphs [0084], [0085], [0109]- [0114], fig. 6, 7, 16	
JP 2014-534611 A	18.12.2014	WO 2015/151557 A1 US 2013/0176552 A1 paragraphs [0028]- [0042], fig. 1, 2 WO 2013/043762 A1 TW 201322756 A KR 10-2014-0078687 A IL 231596 A CN 104025295 A	
WO 2013/094121 A1	27.06.2013	US 2014/0368618 A1 paragraph [0129], fig. 7 EP 2797312 A1 CN 104012076 A	
WO 2013/161912 A1	31.10.2013	US 2015/0146200 A1 paragraphs [0120]- [0123], fig. 22, 23 KR 10-2014-0136054 A	
JP 10-123429 A	15.05.1998	(Family: none)	
JP 2009-236791 A	15.10.2009	US 2009/0279081 A1	
JP 2016-27342 A	18.02.2016	(Family: none)	
WO 2019/064991 A1	04.04.2019	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01N 21/956(2006.01)i FI: G01N21/956 A														
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）） G01N21/00-21/958; G01J1/00-5/62; H01L27/14-27/148; H01L31/00-31/20; G02B1/10-1/18 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 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2020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 - 2020年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2020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 - 2020年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2020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												
Y	JP 2007-33433 A（株式会社日立ハイテクノロジーズ）08.02.2007（2007-02-08） 段落 [0020] - [0047] , 図1, 9-12	1-15												
Y	JP 2015-197320 A（株式会社日立ハイテクノロジーズ）09.11.2015（2015-11-09） 段落 [0050] - [0051] , [0073] - [0078] , 図6-7, 16	1-15												
Y	JP 2014-534611 A（ケーエルエーテンカー コーポレーション）18.12.2014 （2014-12-18） 段落 [0012] - [0026] , 図1-2	1-15												
Y	WO 2013/094121 A1（シャープ株式会社）27.06.2013（2013-06-27） 段落 [0090] , 図7	1-15												
Y	WO 2013/161912 A1（株式会社日立ハイテクノロジーズ）31.10.2013（2013-10-31） 段落 [0079] - [0082] , 図22-23	3, 13												
Y	JP 10-123429 A（株式会社分子バイオホトニクス研究所）15.05.1998（1998-05-15） 段落 [0041]	4, 11												
A	JP 2009-236791 A（株式会社日立ハイテクノロジーズ）15.10.2009（2009-10-15）	1-15												
☒ 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 28.07.2020	国際調査報告の発送日 04.08.2020													
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） 蔵田 真彦 2W 3602 電話番号 03-3581-1101 内線 3258													

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 2016-27342 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 18.02.2016 (2016 - 02 - 18)	1-15
A	WO 2019/064991 A1 (富士フイルム株式会社) 04.04.2019 (2019 - 04 - 04)	1-15

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/JP2020/015161

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2007-33433	A	08.02.2007	US 2006/0290923 A1 段落 [0075] - [0103] , 図 1, 9-12	
JP	2015-197320	A	09.11.2015	US 2017/0146463 A1 段落 [0084] - [0085] , [0109] - [0114] , 図 6-7, 16 WO 2015/151557 A1	
JP	2014-534611	A	18.12.2014	US 2013/0176552 A1 段落 [0028] - [0042] , 図 1-2 WO 2013/043762 A1 TW 201322756 A KR 10-2014-0078687 A IL 231596 A CN 104025295 A	
WO	2013/094121	A1	27.06.2013	US 2014/0368618 A1 段落 [0129] , 図7 EP 2797312 A1 CN 104012076 A	
WO	2013/161912	A1	31.10.2013	US 2015/0146200 A1 段落 [0120] - [0123] , 図 22-23 KR 10-2014-0136054 A	
JP	10-123429	A	15.05.1998	(ファミリーなし)	
JP	2009-236791	A	15.10.2009	US 2009/0279081 A1	
JP	2016-27342	A	18.02.2016	(ファミリーなし)	
WO	2019/064991	A1	04.04.2019	(ファミリーなし)	