

(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
2019年12月5日(05.12.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/229871 A1

(51) 国際特許分類:
G01N 23/203 (2006.01) *G01N 21/956* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/020719

(22) 国際出願日: 2018年5月30日(30.05.2018)

(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ノロジーズ (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION) [JP/JP]; 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目24番14号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 土居 昭(DOI Akira); 〒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). 佐々木 実(SASAKI

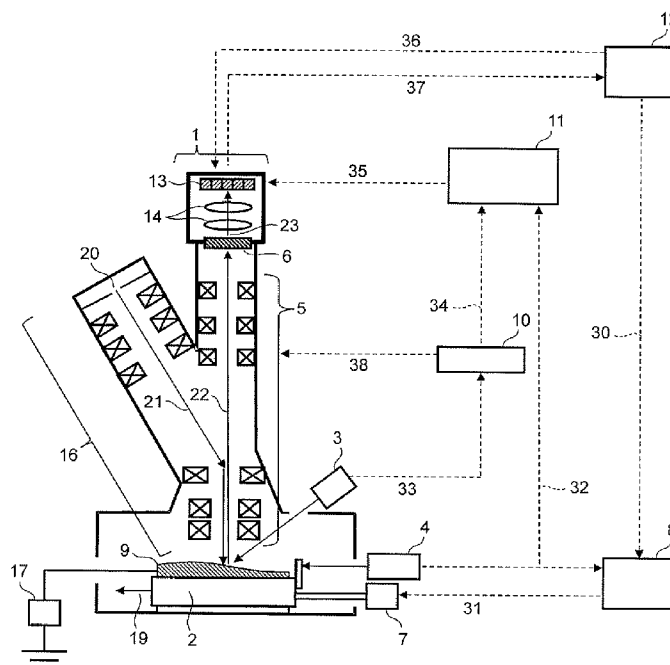
Minoru); 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目24番14号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内 Tokyo (JP). 長谷川 正樹(HASEGAWA Masaki); 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目24番14号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内 Tokyo (JP). 小川 博紀(OGAWA Hironori); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 尾方 智彦(OGATA Tomohiko); 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目24番14号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内 Tokyo (JP). 岡田 祐子(OKADA Yuko); 〒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: 特許業務法人平木国際特許事務所 (HIRAKI & ASSOCIATES); 〒1056232 東京都

(54) Title: WAFER INSPECTION DEVICE AND WAFER INSPECTION METHOD

(54) 発明の名称: ウエハ検査装置およびウエハ検査方法

図 1



(57) Abstract: The present disclosure provides a wafer inspection technology that involves less degradation of the image quality even when an object to be observed has a variation in height due to warpage, etc. of a wafer. This wafer inspection device obtains an image with less degradation by: adjusting the focal point of an observation optical system to a height measured by a height sensor for measuring wafer surface heights; and further, correcting a switching signal for a CCD line sensor on the basis of stage position data and optical magnification data corresponding to the height so as to make a

港区愛宕二丁目５－１ 愛宕グリーンヒルズ
MOR I タワー３２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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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：

- － 国際調査報告（条約第21条(3)）

correction corresponding to the wafer surface height (see fig. 1).

(57) 要約：本開示は、ウエハの反り等による高さ変動がある観測対象においても画質の劣化が少ないウエハ検査技術を提供する。ウエハ検査装置は、ウエハ表面高さを測定する高さセンサで測定した高さに観測光学系の焦点を合わせ、また、高さに応じた光学倍率データとステージ位置データからCCDラインセンサの切り替え信号を補正してウエハ表面高さに応じた補正を実施することにより、劣化の少ない画像を得る（図1参照）。

明 細 書

発明の名称： ウエハ検査装置およびウエハ検査方法

技術分野

[0001] 本開示は、例えば、電子デバイスに用いられるウエハを検査するウエハ検査装置およびウエハ検査方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体デバイスの製造では、鏡面状に研磨されたSiやSiCなどを材料とするウエハ上に微細なデバイスを形成する。ウエハ上に異物、傷、結晶欠陥等があると製造されたデバイス不良につながる。製造されたデバイスの不良率を低下させるためには、製造工程中にウエハ上を検査して各製造工程の管理が重要である。そこで、光やレーザを照射してその反射光によりウエハ表面の異物や傷を観測可能な光学的なウエハ検査装置や、最近では電子線を一様に照射してその反射電子によりウエハ表面及びウエハ内部欠陥も観測可能なミラー電子顕微鏡を応用したウエハ検査装置によりウエハ上を全面検査する試みがある。

これらの検査装置に求められる性能としては、検査の高速化と、異物や欠陥の高い認識精度である。

[0003] 検査の高速化（スループット向上）の要求には、ウエハを移動させながら画像を撮像できる時間延滞積分（TDI：Time Delay Integration）型のTDIカメラを用いることで対応できる。しかし、TDIカメラは、ウエハを移動させながら撮像するので、ウエハに反りが有る場合には、測定位置の傾きや高さ変動の影響で画像に乱れが生じる。

[0004] 例えば、特許文献1は、測定位置の傾きを補正して測定位置のズレを補正したミラー電子顕微鏡を用いた検査装置について開示する。また、特許文献2は、ステージ速度を調整して光学系の歪曲収差を補正したミラー電子顕微鏡を用いた表面状態観測装置について開示する。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2014-203794号公報

特許文献2：特開2003-151481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、特許文献1による検査装置では、測定位置の傾きの影響については考慮されているが、高さ変動の影響については考慮されていない。また、特許文献2による表面状態観測装置では、光学系の視野内の倍率のムラについての補正について考慮されているが、観測対象の高さ変動の影響については考慮されていない。このため、これらの技術を用いたとしても画像の乱れに充分に対応することはできず、高さ変動の影響を軽減する技術が望まれている。

[0007] 本開示はこのような状況に鑑みてなされたものであり、ウエハの反り等による高さ変動がある観測対象においても画質の劣化が少ないウエハ検査技術を提供するものである。

課題を解決するための手段

[0008] 上記課題を解決するために、本開示によるウエハ検査装置は、ウエハを載置し、移動させるステージと、ウエハの表面を光学的に観察する光学的観察部と、移動するステージに載置されたウエハの表面を観測して得られる光信号を電気信号に変換する時間延滞積分型の画像検出素子を有するTDIカメラと、ステージの位置を検出するステージ位置検出器と、ウエハの表面の高さを測定する、少なくとも1つの高さセンサと、光学的観察部を制御する撮像光学系制御装置と、TDIカメラを制御するカメラ制御装置と、を備え、撮像光学系制御装置は、少なくとも1つの高さセンサによって測定されたウエハの表面の高さに基づいて、光学的観察部の光学倍率を変化させてウエハの表面に焦点を合わせ、カメラ制御装置は、光学倍率とステージの位置に基づいて、画像検出素子の切り替えタイミングを補正する。

[0009] 本開示に関連する更なる特徴は、本明細書の記述、添付図面から明らかになるものである。また、本開示の態様は、要素及び多様な要素の組み合わせ及び以降の詳細な記述と添付される特許請求の範囲の形態により達成され実現される。

本明細書の記述は典型的な例示に過ぎず、特許請求の範囲又は適用例を如何なる意味に於いても限定するものではないことを理解する必要がある。

発明の効果

[0010] 本開示によれば、ウエハの反りによるＴＤＩカメラ画像の劣化を補正することが可能となり、鮮明な検査画像を得ることが可能となる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]第1の実施形態による、ミラー電子顕微鏡を用いたウエハ検査装置の断面構成例を示す図である。

[図2]カメラ制御系の原理を説明するための図である。

[図3]カメラ制御系の原理を説明するための図である。

[図4]カメラ制御原理を用いて滑らかな曲面を撮像する方法を説明するための図である。

[図5]ＣＣＤラインセンサ１３をレンズ１５側から見た様子を示す上視図である。

[図6]光学倍率が異なる場合の視野について説明するための図である。

[図7]第２の実施形態による、ミラー電子顕微鏡を用いたウエハ検査装置の断面構成例を示す図である。

[図8]ウエハ上を検査する軌跡１１１を示す図である。

[図9]第３の実施形態による、ミラー電子顕微鏡を用いたウエハ検査装置の断面構成例を示す図である。

[図10]２点の高さを測定することで、観測面演算処理を説明するための図である。

[図11]第４の実施形態による、光学顕微鏡を用いたウエハ検査装置の断面構成例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、添付図面を参照して本開示の実施形態について説明する。添付図面では、機能的に同じ要素は同じ番号で表示される場合もある。なお、添付図面は本開示の原理に則った具体的な実施形態と実装例を示しているが、これらは本開示の理解のためのものであり、決して本開示を限定的に解釈するために用いられるものではない。

[0013] 本実施形態では、当業者が本開示を実施するのに十分詳細にその説明がなされているが、他の実装・形態も可能で、本開示の技術的思想の範囲と精神を逸脱することなく構成・構造の変更や多様な要素の置き換えが可能であることを理解する必要がある。従って、以降の記述をこれに限定して解釈してはならない。

[0014] (1) 第1の実施形態

＜ウエハ検査装置の構成例＞

図1は、第1の実施形態による、ミラー電子顕微鏡を用いたウエハ検査装置の断面構成例を示す図である。図1において、電子源20で発生した入射電子線21を照射光学系16により径の太い平行ビームにしてウエハ9表面に入射する。ウエハ9を置くステージ2には入射電子線21を跳ね返すようにウエハ9を負電位印加電源17により負電位を印加して電子線をウエハ表面で反射させる。その反射した電子線を撮像光学系5により反射電子線22として集光させて蛍光板6に入射する。蛍光板6では、電子線の密度に比例した光23に変換される。光は、反射電子線のエネルギーに応じて、赤外光、可視光、紫外光、真空紫外光、X線などの場合がある。その光23を光学レンズ14により光学的なピントを合わせてTDIカメラ1へ入射する。ステージ2は少なくとも紙面に対して水平方向と垂直方向に移動する2軸以上のステージを備え、検査中は水平方向にステージ進行方向19へ移動させる。

[0015] ウエハ9表面の観測位置の高さを高さセンサ3により測定し、観測位置の高さデータ33が撮像光学系制御装置10に入力される。撮像光学系制御装置10は、高さデータ33の高さの位置の観測画像が蛍光板6上にピントが

合うように、撮像光学系 5 に撮像光学系制御信号 38 を入力する。撮像光学系制御装置 10 は、このときの撮像光学系 5 の光学倍率を計算してその光学倍率データ 34 を TDI カメラ制御装置 11 に入力する。そして、TDI カメラ制御装置 11 は、撮像光学系 5 の光学倍率を変えて、高さが変化したウエハ 9 上の面に焦点を合わせる。

[0016] ステージ 2 は、全体制御装置 12 からのステージ位置指令 30 に応じてステージ制御装置 8 により制御され、画像撮像中は極力一定速度となるようにする。ステージ位置はレーザ干渉計 4 により観測され、ステージ位置データ 32 は TDI カメラ制御装置 11 に入力される。

[0017] ウエハ検査装置全体は、全体制御装置 12 により制御される。全体制御装置 12 は、ステージ制御装置 8 にステージ位置指令（例えば、モータの回転数を示す情報）30 を入力し、それに応答して、ステージ制御装置 8 が位置制御信号（座標位置の情報）31 をステージ駆動装置 7 に供給し、ステージ 2 の位置を所望の場所に制御する。また、全体制御装置 12 は、TDI カメラ 1 に画像 ON-OFF 信号（クロック調整用信号）36 を供給し、撮像撮影を制御して、画像データ 37 を取得する。

[0018] TDI カメラ制御装置 11 は、倍率データ 34 とステージ位置データ 32 からステージ 2 の移動が CCD ラインセンサ 13 の 1 ライン幅となるタイミングでライン切り替え信号 35 を TDI カメラ 1 に入力する。この切り替え信号をウエハの高さデータに対応した倍率データ 34 を考慮したものとする事で、高さ補正された画像を得ることができる。

[0019] <カメラ制御の原理>

図 2 および図 3 は、カメラ制御系の原理を説明するための図である。図 2 及び図 3 は、図 1 を簡略化した模式図であり、ウエハ 9 は分かり易いように 2 段階の高さを持つも階段状のとして、それぞれの高さでウエハ 9 の表面を観測する条件について説明する。また、図 2 および図 3 では、図 1 での撮像光学系 5 を簡略的に一枚のレンズ 15 で表記している。

[0020] 図 2 は、ウエハの左半分を観測している状態を示している。ウエハ 9 の表

面の観測位置の高さを高さセンサ 3 により測定し、観測位置の高さデータ 3 3 が高さセンサ 3 から撮像光学系制御装置 1 0 に入力される。撮像光学系制御装置 1 0 は、高さデータ 3 3 の高さに合わせてウエハ上の観測面 3 0 0 の画像が蛍光板 6 にピントが合うようにレンズ 1 5 に撮像光学系制御信号 3 8 を入力する。撮像光学系制御装置 1 0 は、このときのレンズ 1 5 の光学倍率を計算してその光学倍率データ 3 4 を T D I カメラ制御装置 1 1 に入力する。ステージ 2 は画像撮像中には極力一定速度となるように制御され、ステージ位置はレーザ干渉計 4 により観測され、ステージ位置データ 3 2 は T D I カメラ制御装置 1 1 に入力される。

[0021] 上記の状態でウエハ上のある 1 点が観測される状況を説明する。ある 1 点が移動距離 1 0 2 a に相当する部分を移動する時間帯では、その点は C C D ラインセンサ 1 3 a にて観測される。そして、移動距離 1 0 2 a に相当する距離がレンズ 1 5 によって C C D ラインセンサに転写される距離 1 0 1 a が C C D ラインセンサの幅と等しくなったタイミングでライン切り替え信号 3 5 を T D I カメラ 1 に入力する。このライン切り替え信号 3 5 が入力されると、T D I カメラ 1 は、C C D ラインセンサ 1 3 a で光信号を変換して蓄えた電荷を、電荷移動 4 0 a に示すルートで C C D ラインセンサ 1 3 b に移動させる。

[0022] 次に、ある 1 点が移動距離 1 0 2 b に相当する部分を移動する時間帯では、その 1 点は C C D ラインセンサ 1 3 b にて観測され、T D I カメラ 1 は、C C D ラインセンサ 1 3 a での電荷に加えて、C C D ラインセンサ 1 3 b でも光信号を変換して電荷を蓄える。このように、T D I カメラ 1 は、次々と C C D ラインセンサ 1 3 c および 1 3 d でも同様に電荷を蓄積することにより、隣り合うラインセンサで同一点を観測しながら光信号を電荷に変換して蓄積することができ、明るい画像を得ることが可能となる。C C D ラインセンサで電荷を積分しながら画像を撮像する方法を時間延滞積分方式と呼び、ある 1 点の画像をラインセンサの数だけ積分を繰り返して撮影する積分時間を時間延滞積分時間と呼ぶこととする。

[0023] T D I カメラ 1 が C C D ラインセンサを 6 4、1 2 8、2 5 6、5 1 2 程度の段数備えることで、時間延滞積分時間が長くなればなるほど明るい画像を得ることが可能となる。

[0024] ここで、光学倍率を f_1 、C C D ラインセンサの幅を W 、ステージ移動距離を d とすると、式 (1) を満足するようなタイミングでライン切り替え信号 3 5 を T D I カメラに入力するように T D I カメラ制御装置 1 1 が動作すれば、T D I カメラとしては理想的な画像を撮像する条件となる。

$$W = f_1 \cdot d \quad \cdots \quad (1)$$

ステージ移動距離は、レーザ干渉計 4 からのステージ位置データ 3 2 より移動距離を演算することで計算できる。

[0025] 次に、図 3 はウエハ 9 の右半分を観測している状態を示している。図 2 との違いは、観測位置のウエハ高さが異なることのみであり、制御方法等は全く同様に動作する。ウエハ高さが異なることで、撮像光学系制御装置 1 0 が設定する光学倍率も異なる値となりその光学倍率を f_2 、C C D ラインセンサの幅を W 、ステージ移動距離を d とすると、式 (2) を満足するようなタイミングでライン切り替え信号 3 5 を T D I カメラに入力するように T D I カメラ制御装置 1 1 が動作すれば T D I カメラとしては理想的な画像を撮像する条件となる。

$$W = f_2 \cdot d \quad \cdots \quad (2)$$

[0026] 上記のように、高さが変化する毎にライン切り替え信号 3 5 を発生するタイミングを調整することで高さが変化するウエハ表面の観測が可能となる。具体的には、高さセンサ 3 で高さの変化が起こったことを検知し、倍率を変化させる。そして、倍率（の変化）の情報と、ステージ 2 の移動距離から出力するクロック（ライン切り替え信号 3 5）を変えることでピントが合う場所を変えることができる。

[0027] <滑らかな曲面を撮像する方法>

図 4 は、上述のカメラ制御原理を用いて滑らかな曲面を撮像する方法を説明するための図である。図 4 と図 2 および図 3 との違いは、ウエハ 9 の断面

形状のみである。

[0028] 高さセンサ 3 で細かく高さデータを測定してそれに合わせて観測面 300 を設定すれば滑らかに曲面上を撮像可能となる。しかし、このようにすると、撮像光学系制御装置 10 と TDI カメラ制御装置 11 の演算回数が膨大となり、制御系が追いつかない可能性が高くなる。そこで、本実形態では、観測位置のウエハ高さが変化して理想の光学倍率 f から δf だけ誤差が発生したタイミングで光学倍率を調整する方法とする。ここで、 δf を光学倍率誤差許容値と呼ぶ。この考え方からすると、観測面 300 は階段状となる。

[0029] ただし、光学倍率許容値 δf が大きいと、TDI カメラ 1 で撮像する上で倍率が急激に変化することになり、視野が瞬間的に変わることから画像が乱れることになる。そこで、画像の乱れが小さくできる光学倍率許容値 δf の条件を求める必要がある。

[0030] 図 5 は、CCD ラインセンサ 13 をレンズ 15 側から見た様子を示す上視図である。CCD ラインセンサ 13 は、紙面上下方向に配列された複数の CCD 画素 39 で構成される。CCD ラインセンサ 13 を構成する画素数を M 列とする。また、この CCD ラインセンサ 13 が N 段で TDI カメラ 1 を構成しているものとする。図 3 で説明したライン切り替え信号 35 が入るときの電荷移動 40a および 40b は、二次元的には水平方向に隣接する画素に電荷が移動する。

[0031] 図 6 は、光学倍率が異なる場合の視野について説明するための図である。図 6 を参照して、TDI カメラ 1 において、時間延滞積分時間中に光学倍率 f のときの視野 51a が、光学倍率 $f + \delta f$ と変化して視野 51b となった場合を考える。CCD カメラでは装置の振動や電氣的なノイズ等により、隣り合う 2 画素程度のゆらぎは許容できることが知られている。そこで、時間延滞積分時間中の視野の変化が 1 画素分（両側で 2 画素分）以下となる条件であれば、光学倍率の変化により TDI カメラの画像に影響を与えないことが分かる。その条件として、まず CCD ラインセンサ 13 の並んでいる方向（紙面水平方向）について考える。式（1）と同様に、光学倍率を f 、CC

Dラインセンサ13のその方向の幅をW、ステージ2の移動距離をdとすると、式(3)が成り立つ。

$$W = f \cdot d \quad \dots \quad (3)$$

[0032] 式(3)をN倍すると、式(4)のようになる。

$$N \cdot W = f \cdot (N \cdot d) \quad \dots \quad (4)$$

式(4)は、距離 $N \cdot d$ が図6の視野51aのCCDラインセンサ13の並んでいる方向(紙面水平方向)の距離 $N \cdot W$ に見えることを示している。この視野51aが倍率 $f + \delta f$ と変化したことにより視野51bとなった場合には、式(5)のように表すことができる。

$$(N - 2) \cdot W = (f + \delta f) \cdot (N \cdot d) \quad \dots \quad (5)$$

ここで、式(5)から式(4)を引くと、式(6)を得ることができる。

$$\delta f / f = -2 / N \quad \dots \quad (6)$$

[0033] 式(6)より、CCDラインセンサ13が並んでいる方向についての光学倍率の変化よりTDIカメラ1の画像に影響を与えない光学倍率変動 δf の大きさの範囲は、TDIのCCDラインセンサの段数をNとして、式(7)のように表すことができる。

$$|\delta f / f| < 2 / N \quad \dots \quad (7)$$

よって、式(7)の条件を満たす光学倍率変化量 δf であれば、TDIカメラの画像に影響を与えないことが分かる。

[0034] 同様に、CCDラインセンサ13の画素の並んでいる方向(紙面上下方向)についての条件は、CCDラインセンサ13の列数をMとして、光学倍率をf、CCDラインセンサ13の画素のその方向の幅をW、幅WのCCDラインセンサ13がステージ2上で見える幅をeとすると、式(3)に相当する式は、式(8)のようになる。

$$W = f \cdot e \quad \dots \quad (8)$$

[0035] 後は、NをMに置き換えて同様に解くと、CCDラインセンサ13の画素の並んでいる方向についての光学倍率の変化よりTDIカメラ1の画像に影響を与えない光学倍率変動 δf の大きさの範囲は、TDIカメラ1のCCD

ラインセンサ 13 の列数を M として、式 (9) のようになる。

$$|\delta f / f| < 2 / M \quad \dots \quad (9)$$

[0036] 式 (7) 及び式 (8) より、画素数が多い程に光学倍率許容値 δf は小さくする必要があり、例えば $M=N=1024$ の TD I カメラでは $|\delta f / f| < 0.195\%$ 、 $M=N=256$ では $|\delta f / f| < 0.781\%$ とする必要があり、画素数の小さな TD I カメラであっても光学倍率許容値 δf は 1% 以下とする必要があることが分かる。

[0037] なお、光学倍率許容値ではなく、高さ変動に許容値を設けて制御する方法もある。例えば、光学倍率 65 倍のミラー電子顕微鏡の場合、高さが $100 \mu\text{m}$ 程度変化すると光学倍率が 1% 程度変化する。この場合、高さの許容値は、 $M=N=1024$ の TD I カメラ 1 では $19.5 \mu\text{m}$ 以下、 $M=N=256$ では $78.1 \mu\text{m}$ 以下となる。

[0038] このように許容値を設けて図 4 のように観測面 300 を設定して高さ補正しながら観測することで反りの大きなウエハ表面の画像を鮮明に撮像することが可能となる。

[0039] (2) 第 2 の実施形態

＜ウエハ検査装置の構成例＞

図 7 は、第 2 の実施形態による、ミラー電子顕微鏡を用いたウエハ検査装置の断面構成例を示す図である。図 7 において、構成要素 1 から 38 は図 1 と同じものである。第 2 の実施形態によるウエハ検査装置は、第 1 の実施形態によるウエハ検査装置 (図 1) とは異なり、高さデータのバッファ 110 を備えている。バッファ 110 は、過去の高さデータを一時的に格納して保存する。

[0040] ＜過去の高さデータの活用＞

図 8 は、ウエハ上を検査する軌跡 111 を示す図である。ウエハ 9 の検査は、上下方向にステージ 2 を移動させながら TD I カメラ 1 で画像を撮像して行われる。ウエハ端まで画像を撮像するとステージ 2 は一旦停止し、紙面の水平方向に TD I カメラ 1 の視野程度移動して再び逆方向に移動して画像

が撮像される。ここで、例えば、隣り合った軌跡 1 1 1 a と軌跡 1 1 1 b とは、視野 1 個分程度の距離（例えば、1 0 0 μ m）離れているだけなので、概略同じ高さであると見なすことができる。そこで、軌跡 1 1 1 a の撮像中に高さセンサ 3 で収集した高さデータ 3 3 をバッファ 1 1 0 に格納し、軌跡 1 1 1 b の撮像中にはバッファ 1 1 0 に格納された高さデータ（軌跡 1 1 1 a を撮像して得られた高さデータ）を用いて高さ補正を実施することができる。この方法では撮像前にライン切り替え信号 3 5 を発生するタイミングを予め用意することが可能となり、画像撮像中に高さを測定しながら演算する必要がない。ただし、一番初めの軌跡 1 1 1 c ではバッファ 1 1 0 に高さデータは保管されていない（過去の高さデータがない）ため、1 1 1 c のみ 1 度同じ軌跡で移動させてバッファ 1 1 0 に高さデータを保管させる処理が必要となる。なお、用いる過去の高さデータは、直前の軌跡を撮像して得られたデータでなくてもよい。例えば、1 0 ライン分の軌跡撮像に 1 回程度の過去の高さデータを用いてもよい。

[0041] （３）第３の実施形態

＜ウエハ検査装置の構成例＞

図 9 は、第 3 の実施形態による、ミラー電子顕微鏡を用いたウエハ検査装置の断面構成例を示す図である。図 9 において、構成要素 1 から 3 8 は、第 1 の実施形態によるウエハ検査装置（図 1）と同じものである。ただし、第 3 の実施形態によるウエハ検査装置は、第 1 の実施形態のウエハ検査装置（図 1）とは異なり、高さセンサが 2 台設置されており、観測位置のステージ進行方向の少なくとも 2 点の高さを測定することが可能となっている。なお、本実施形態では、2 つの高さセンサを設けた例を示したが、3 つ以上の高さセンサを設け、それぞれの測定結果に基づいて観測面 3 0 0 を近似してもよい。

[0042] ＜２点高さ測定の動作＞

図 1 0 は、2 点の高さを測定することで、観測面演算処理を説明するための図である。図 1 0 において、高さセンサ 3 a と高さセンサ 3 b は観測位置

よりも前の距離 X だけ離れた2点をそれぞれ測定して、その2点を直線で近似した観測面300を撮像光学系制御装置10において演算する。ウエハ9がステージ進行方向19に移動させ、演算した観測面300のデータを前もって用意する。このようにすることにより、画像撮像中に高さを測定しながら演算する回数を減少させることができる。

[0043] 距離 X を小さく設定すればする程、観測面300を直線で近似した高さ誤差 Y を小さくできるが、演算回数が多くなる。図10に示したウエハ9の高さ変動の大きさを a 、周期を T と仮定する。その時の高さ誤差 Y は X が T よりも小さい場合は、式(10)のように見積もることができる。

$$Y \div a \cdot (X/T) \quad \dots \quad (10)$$

式(10)より、誤差 Y よりも小さい誤差とするための距離 X の条件は、式(11)のようになる。

$$X < Y \cdot T / a \quad \dots \quad (11)$$

[0044] 例えば、光学倍率65倍のミラー電子顕微鏡の場合、高さが $100\mu\text{m}$ 程度変化すると光学倍率が1%程度変化する。この場合、高さの許容値は、 $M=N=1024$ のTDIカメラ1では $19.5\mu\text{m}$ 以下であった。高さの誤差 Y を高さの許容値と考えて、 $Y=19.5\mu\text{m}$ とする。周期 T を直径 150mm のウエハの中央が $100\mu\text{m}$ 反っていると仮定し、 $T=150\text{mm}$ 、 $a=100\mu\text{m}$ とすると、式(11)より $X < 19.5 \cdot 150 / 100 = 29.3\text{mm}$ となり、 29.3mm よりも距離 X を小さくすれば良いことが分かる。

[0045] なお、本実施形態では、上述の観測面300を得る演算を、ステージ2が距離 X だけ移動する度に実行するようにしているが、例えば、ステージ2が距離 $2X$ 移動する度に観測面300を演算計算して求めた観測面を $2X$ の距離で活用することとしてもよい。

[0046] (4) 第4の実施形態

図11は、第4の実施形態による、光学顕微鏡を用いたウエハ検査装置の断面構成例を示す図である。図11において、構成要素1から38は第1の

実施形態によるウエハ検査装置（図１）と同じものである。第４の実施形態によるウエハ検査装置は、第１の実施形態によるウエハ検査装置が電子線を当てて観測するのとは異なり、光源５３により光５４をウエハ９上に照射して、その反射光５２を集光レンズ５０によりＴＤＩカメラ１のウィンドウ６０を經由してＣＣＤラインセンサ１３上に集光させることでウエハ９を観測する。

[0047] 光源５３としては、例えば、高い光学倍率で撮像するためには色収差を極力無くすために単一波長の光源とすることが望ましい。このため、光源５３の出口にバンドパスフィルタを用いて波長を制限するか、ＬＤ光源、レーザ光源、Ｘ線源等を用いることが望ましい。

[0048] 第４の実施形態によるウエハ検査装置は、上述した構成以外については、第１の実施形態によるウエハ検査装置と同様の構成を備えており、第２から第４の実施形態による機能や構成を適用することも可能であり、同様に効果的である。

[0049] （５）まとめ

（ｉ）本実施形態では、撮像光学系制御装置１０が、少なくとも１つの高さセンサ３によって測定されたウエハ９の表面の高さに基づいて、光学的観察部（５および１６、あるいは５０および５３）の光学倍率を変化させてウエハの表面に焦点を合わせ、カメラ制御装置（ＴＤＩカメラ制御装置１１）が、光学倍率とステージ２の位置に基づいて、画像検出素子（ＴＤＩカメラ１のＣＣＤラインセンサ１３）の切り替えタイミングを補正する。このようにすることにより、ウエハの反りや段差等による高さ変動がある観察対象に対しても画質の劣化を抑制し、高画質な観察画像を取得することができるようになる。

[0050] （ｉｉ）第１から第３の実施形態では、上記光学的観察部として、例えば、電子源２０と、電子源２０から面状の入射電子線をウエハ９上に照射する照射光学系１６と、ウエハ９の表面上に負電位を印加する負電位印加電源１７と、ウエハ９の表面上に形成された負電位によって反射した反射電子線を集光

する集光光学系（撮像光学系 5）と、集光光学系で集光して光を電気信号に変換する蛍光板 6 と、を備えるミラー電子顕微鏡を用いることができる。このようにすることにより、高さ変動に対応しつつ、ウエハ 9 の表面全体を検査することができ、検査の高速化を実現でき、異物や欠陥を精度良く認識することができるようになる。

[0051] (iii) また、第 4 の実施形態では、上記光学的観察部として、例えば、光源 53 と、光源 53 から放射された光をウエハ 9 上に照射する照射部（図示しない照射光学系）と、ウエハ 9 の表面で反射された反射光を集光する集光レンズ 50 と、を備える、集光した光を観測する光学顕微鏡を用いることができる。このようにすることにより、比較的簡単な構成で、高さ変動に対応しつつ、ウエハ 9 の表面全体を検査することができるようになる。

[0052] (iv) さらに、本実施形態では、カメラ制御装置（TD | カメラ制御装置 11）は、光学的観察部の光学倍率の変化が 1% 以下となるように、画像検出素子（CCD ラインセンサ 13）の切り替えタイミングを補正する。このようにすることにより、取得する画像において、視野が急激に変化することを防止することができる。

[0053] (v) 第 2 の実施形態では、ウエハ検査装置は、ウエハ 9 の表面の高さデータを蓄えるバッファ 110 を備え、過去に検査した際に取得したウエハ 9 の高さデータを一時的に格納する。この場合、カメラ制御装置（TD | カメラ制御装置 11）は、ウエハ 9 の表面の観測位置をずらしながらウエハ 9 の上を往復して検査する軌跡（図 8 参照）として、バッファ 110 に蓄えられた、過去の高さデータを用いて、画像検出素子（CCD ラインセンサ 13）の切り替えタイミングを補正する。このようにすることにより、画像撮像中にウエハ 9 の高さを測定しながら切り替えタイミングを演算する必要がなくなり、処理の高速化を実現することができる。

[0054] (vi) 第 3 の実施形態では、少なくとも 2 つのウエハ高さセンサ 3a および 3b を設けている。この場合、少なくとも 2 つのウエハ高さセンサ 3a および 3b を用いて、ウエハ 9 の表面の高さを少なくとも 2 点観測し、撮像光学

系制御装置 10 は、観測した少なくとも 2 点の高さデータに基づいて、ウエハ 9 の表面を傾いた近似平面で推測する。そして、カメラ制御装置 (TDI カメラ制御装置 11) は、ウエハ 9 の表面の高さが推測した近似平面高さとなるように、画像検出素子 (CCD ラインセンサ 13) の切り替えタイミングを補正する。このように、近似平面を用いて高さを推定するので、高さの測定回数を減らすことができ、処理の高速化を実現することができる。

符号の説明

- [0055]
- 1 TDI カメラ
 - 2 ステージ
 - 3 高さセンサ
 - 4 レーザ干渉計
 - 5 撮像光学系
 - 6 蛍光板
 - 7 ステージ駆動装置
 - 8 ステージ制御装置
 - 9 ウエハ
 - 10 撮像光学系制御装置
 - 11 TDI カメラ制御装置
 - 12 全体制御装置
 - 13 CCD ラインセンサ
 - 14 光学レンズ
 - 15 レンズ
 - 16 照射光学系
 - 17 負電位印加電源
 - 19 ステージ進行方向
 - 20 電子源
 - 21 入射電子線
 - 22 反射電子線

- 3 0 ステージ位置指令
- 3 1 位置制御信号
- 3 2 ステージ位置データ
- 3 3 高さデータ
- 3 4 光学倍率データ
- 3 5 ライン切り替え信号
- 3 6 画像ON-OFF信号
- 3 7 画像データ
- 3 8 撮像光学系制御信号
- 3 9 CCD画素
- 4 0 電荷移動
- 5 0 集光レンズ
- 5 1 視野
- 5 2 反射光
- 5 3 光源
- 5 4 光
- 6 0 ウィンドウ
- 1 0 1 転写距離
- 1 0 2 移動距離
- 1 1 0 バッファ
- 1 1 1 軌跡
- 3 0 0 観測面

請求の範囲

[請求項1]

ウエハを載置し、移動させるステージと、
前記ウエハの表面を光学的に観察する光学的観察部と、
移動する前記ステージに載置された前記ウエハの表面を観測して得られる光信号を電気信号に変換する時間延滞積分型の画像検出素子を有するＴＤＩカメラと、
前記ステージの位置を検出するステージ位置検出器と、
前記ウエハの表面の高さを測定する、少なくとも１つの高さセンサと、
前記光学的観察部を制御する撮像光学系制御装置と、
前記ＴＤＩカメラを制御するカメラ制御装置と、を備え、
前記撮像光学系制御装置は、前記少なくとも１つの高さセンサによって測定された前記ウエハの表面の高さに基づいて、前記光学的観察部の光学倍率を変化させて前記ウエハの表面に焦点を合わせ、
前記カメラ制御装置は、前記光学倍率と前記ステージの位置に基づいて、前記画像検出素子の切り替えタイミングを補正する、ウエハ検査装置。

[請求項2]

請求項１において、
前記光学的観察部は、電子源と、前記電子源から面状の入射電子線をウエハ上に照射する照射光学系と、前記ウエハの表面上に負電位を印加する負電位印加電源と、前記ウエハの表面上に形成された負電位によって反射した反射電子線を集光する集光光学系と、前記集光光学系で集光して光を電気信号に変換する蛍光板と、を備えるミラー電子顕微鏡である、ウエハ検査装置。

[請求項3]

請求項１において、
前記光学的観察部は、光源と、前記光源から放射された光をウエハ上に照射する照射部と、前記ウエハの表面で反射された反射光を集光する集光レンズと、を備え、前記集光した光を観測する光学顕微鏡で

ある、ウエハ検査装置。

[請求項4]

請求項1において、

前記カメラ制御装置は、前記光学的観察部の光学倍率の変化が1%以下となるように、前記画像検出素子の切り替えタイミングを補正する、ウエハ検査装置。

[請求項5]

請求項1において、

さらに、前記ウエハの表面の高さデータを蓄えるバッファを備え、

前記カメラ制御装置は、前記ウエハの表面の観測位置をずらしながら前記ウエハの上を往復して検査する軌跡として、前記バッファに蓄えられた、過去の高さデータを用いて、前記画像検出素子の切り替えタイミングを補正する、ウエハ検査装置。

[請求項6]

請求項1において、

少なくとも2つの高さセンサを備え、

前記少なくとも2つの高さセンサは、前記ウエハの表面の高さを少なくとも2点観測し、

前記撮像光学系制御装置は、少なくとも2点観測された高さのデータに基づいて、前記ウエハの表面を傾いた近似平面で推測し、

前記カメラ制御装置は、前記ウエハの表面の高さが前記推測した近似平面高さとなるように、前記画像検出素子の切り替えタイミングを補正する、ウエハ検査装置。

[請求項7]

光学的観察部が、ステージの上に載置したウエハの表面を光学的に観察することと、

時間延滞積分型の画像検出素子が、前記ウエハの表面を観測して得られる光信号を電気信号に変換することと、

ステージ位置検出器が、前記ステージの位置を検出することと、

少なくとも1つの高さセンサが、前記ウエハの表面の高さを測定することと、

前記光学的観察部を制御する撮像光学系制御装置が、前記少なくとも1つの高さセンサによって測定された前記ウエハの表面の高さに基づいて、前記光学的観察部の光学倍率を変化させて前記ウエハの表面に焦点を合わせることで、

前記画像検出素子を有するTDIカメラを制御するカメラ制御装置が、前記光学倍率と前記ステージの位置に基づいて、前記画像検出素子の切り替えタイミングを補正することと、
を含む、ウエハ検査方法。

[請求項8] 請求項7において、

前記カメラ制御装置は、前記光学的観察部の光学倍率の変化が1%以下となるように、前記画像検出素子の切り替えタイミングを補正する、ウエハ検査方法。

[請求項9] 請求項7において、

さらに、バッファに前記ウエハの表面の高さデータを格納することを含み、

前記カメラ制御装置は、前記ウエハの表面の観測位置をずらしながら前記ウエハの上を往復して検査する軌跡として、前記バッファに蓄えられた、過去の高さデータを用いて、前記画像検出素子の切り替えタイミングを補正する、ウエハ検査方法。

[請求項10] 請求項7において、さらに、

少なくとも2つの高さセンサが、前記ウエハの表面の高さを少なくとも2点観測することと、

前記撮像光学系制御装置が、前記少なくとも2点の高さのデータを用いて、前記ウエハの表面を傾いた近似平面で推測することと、を含む、

前記カメラ制御装置は、前記ウエハの表面の高さが前記推測した近似平面高さとなるように、前記画像検出素子の切り替えタイミングを補正する、ウエハ検査方法。

[図1]

図 1

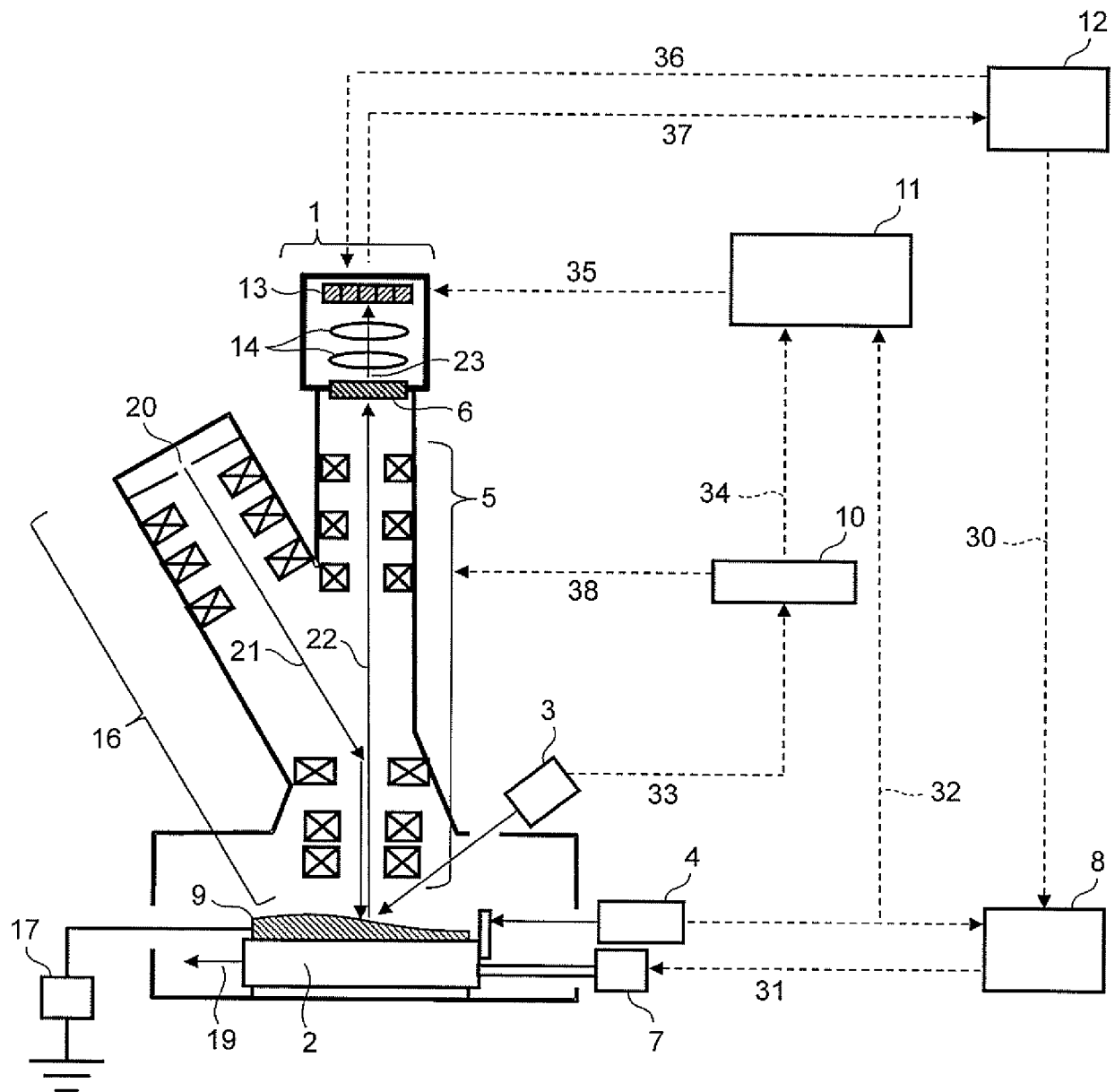


图 2

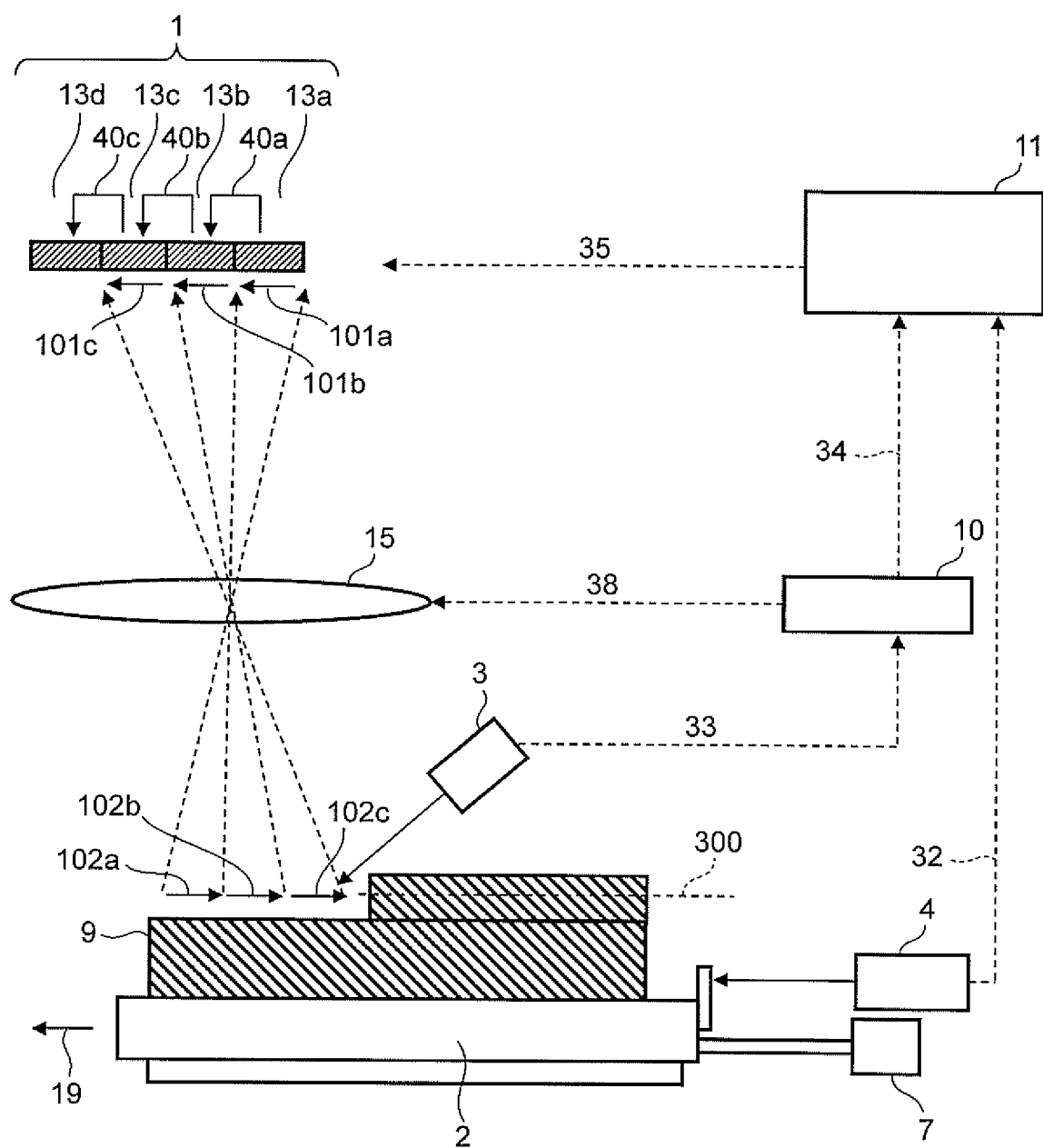
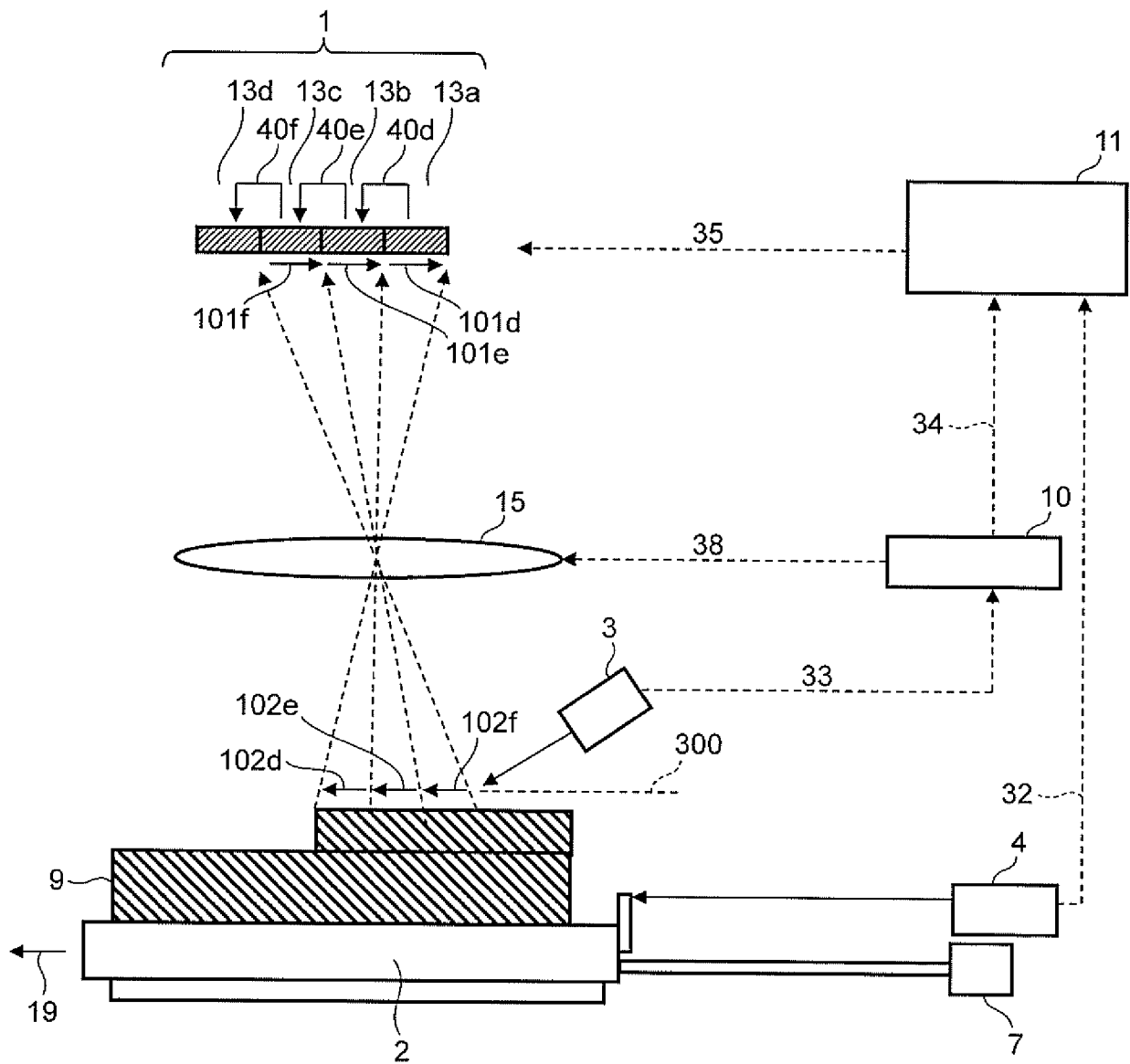
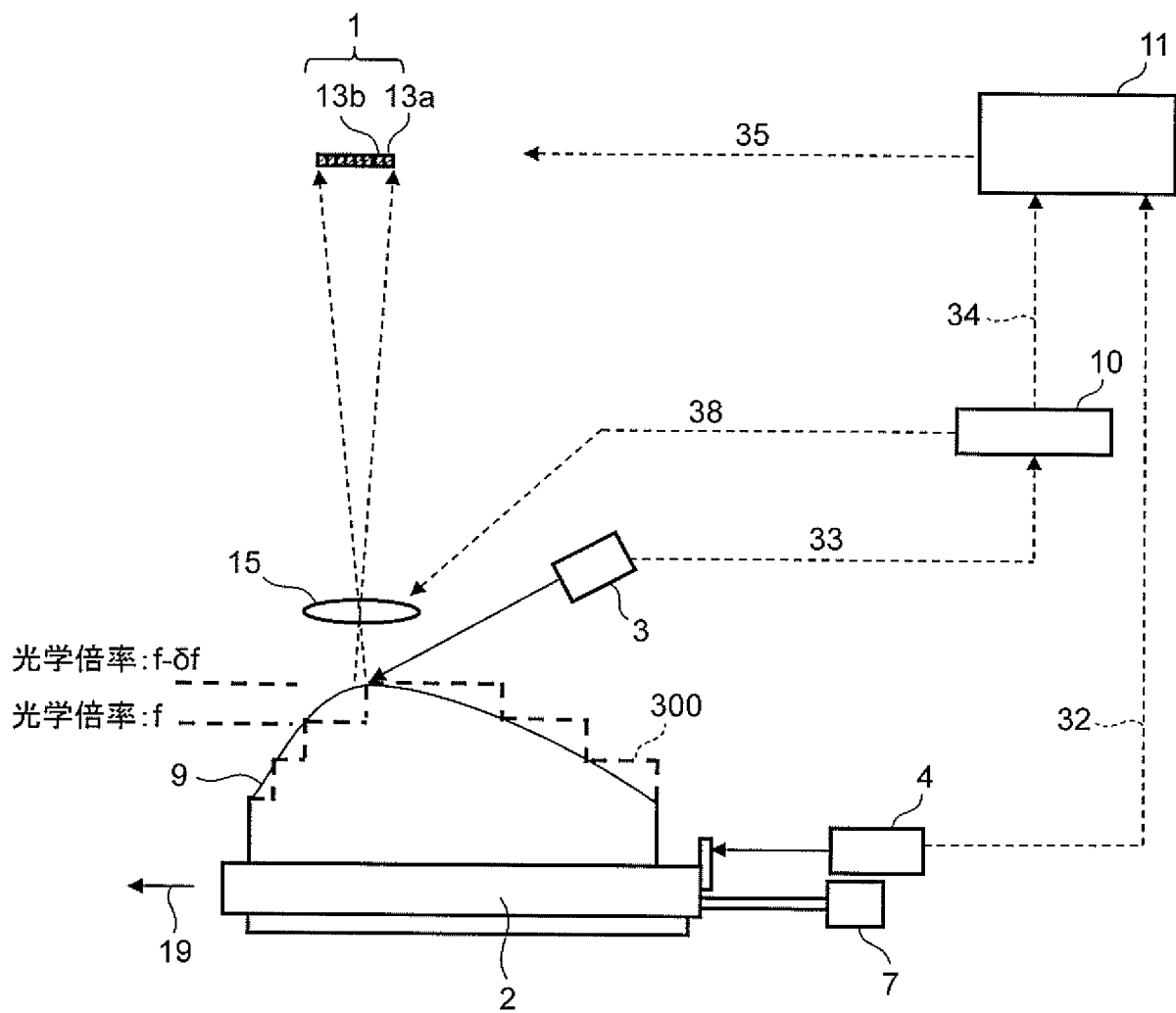


图 3



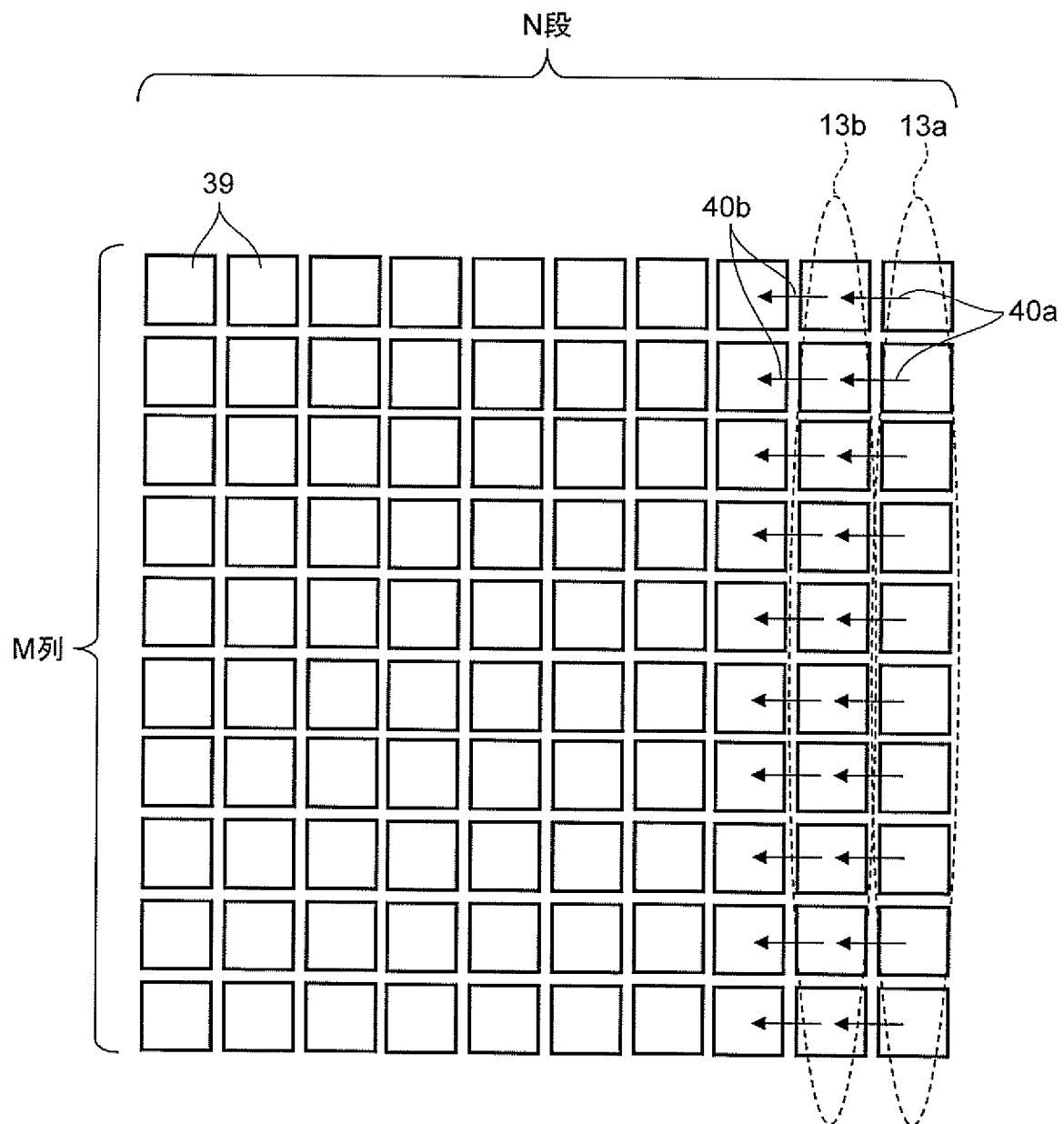
[図4]

図 4



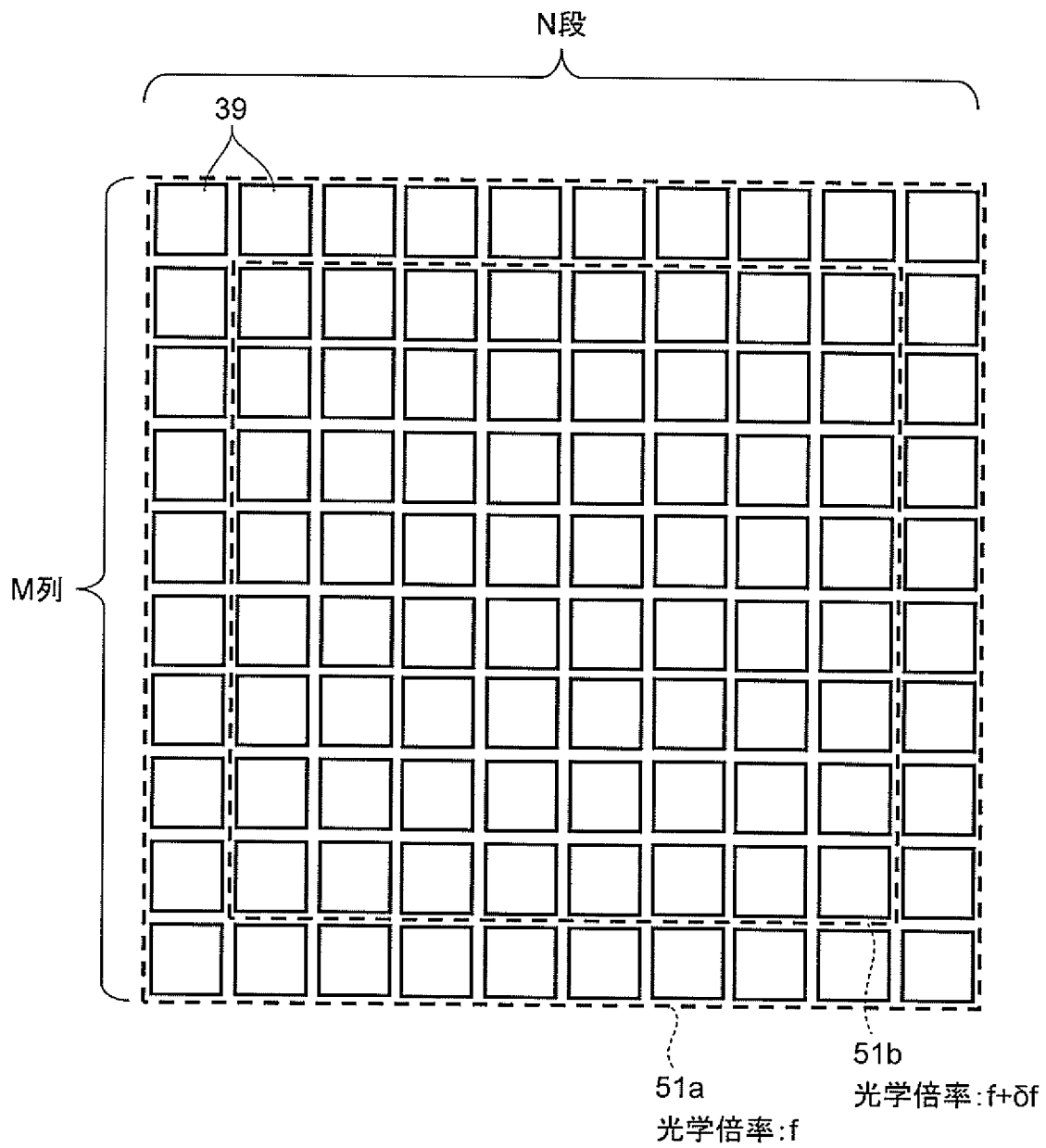
[図5]

図 5



[図6]

図 6



[図8]

図 8

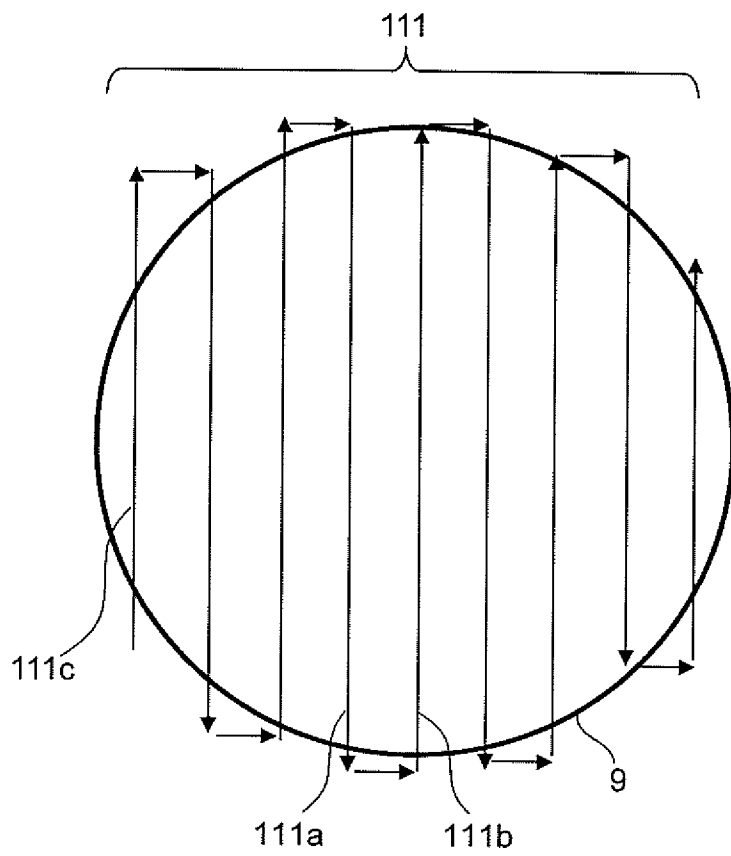
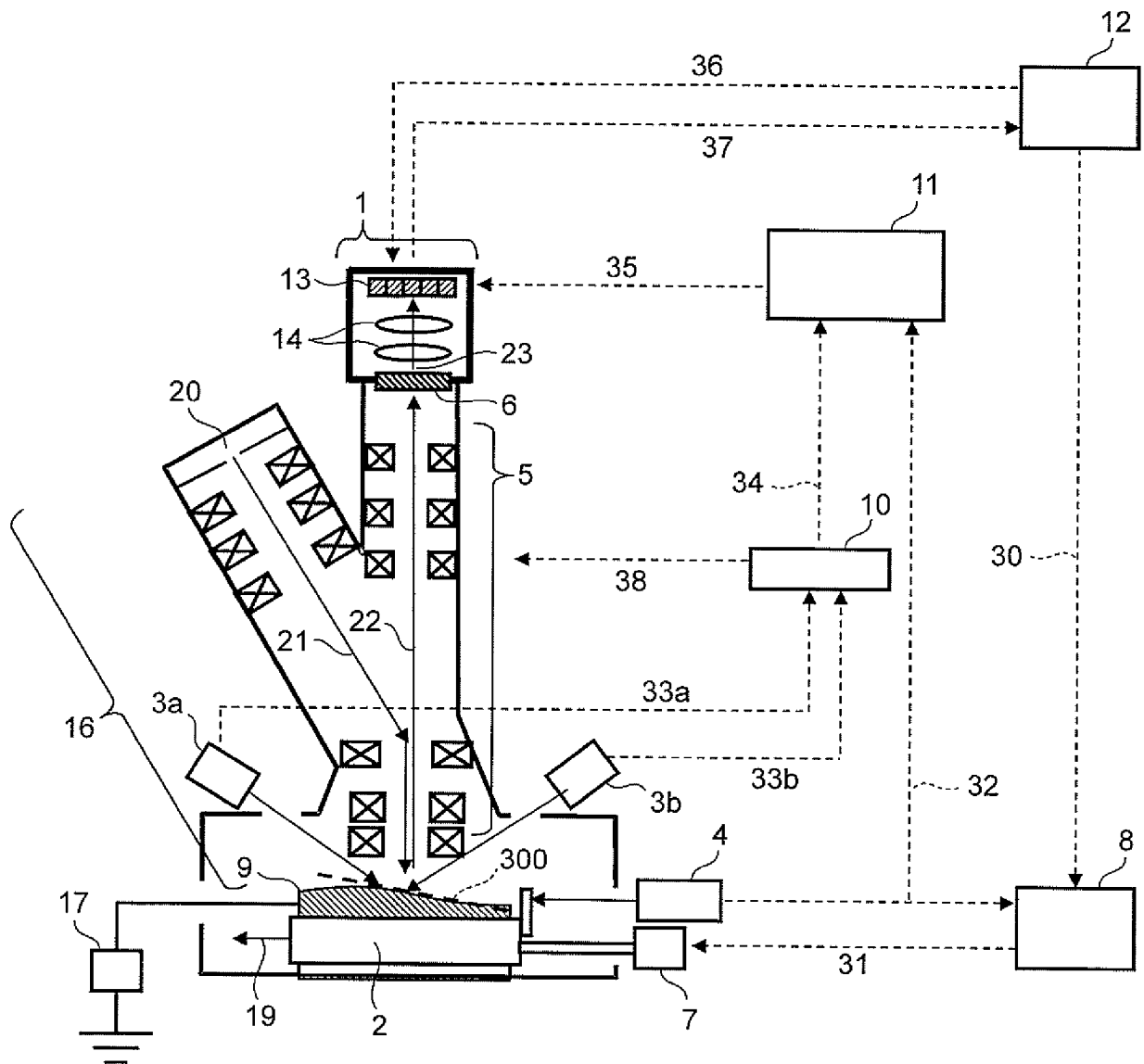
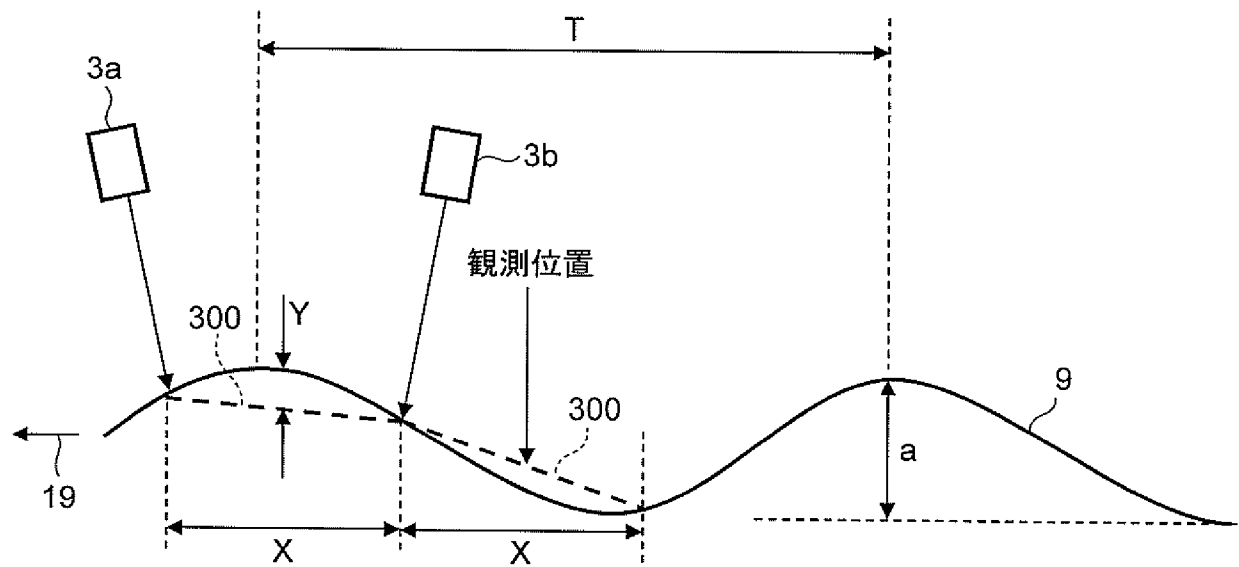


图 9



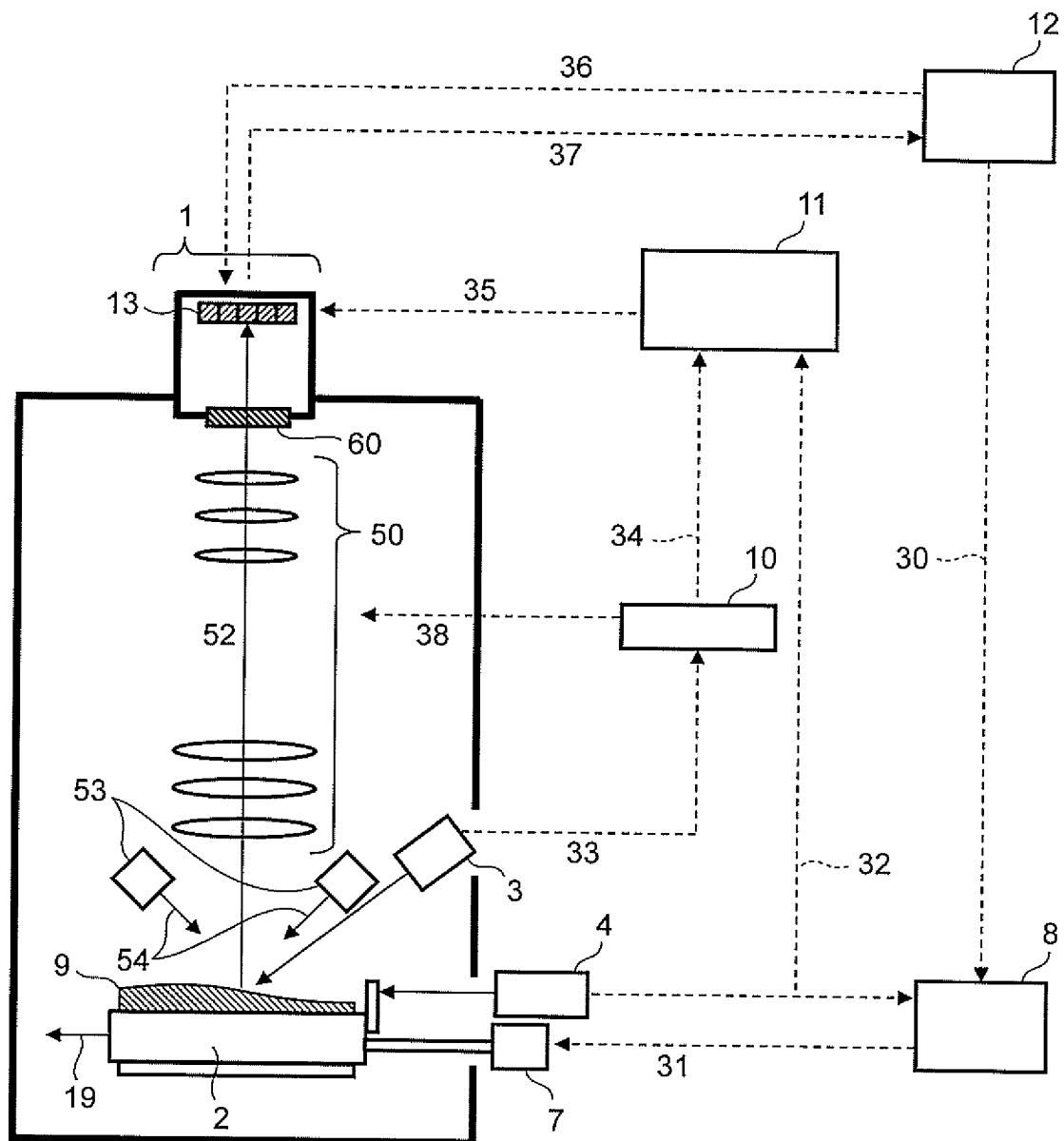
[図10]

図 10



[図11]

図 1 1



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/020719

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G01N23/203 (2006.01) i, G01N21/956 (2006.01) i

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. G01N23/00-23/2276, G01N21/84-21/958, H01J37/00-37/295

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 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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 2005-235777 A (EBARA CORP.) 02 September 2005, paragraphs [0053]-[0073], fig. 1, 4, 6-9 & JP 2007-19033 A & JP 2011-142090 A & US 2002/0088940 A1, paragraphs [0095]-[0123], fig. 1, 4, 6-9 & US 2006/0118719 A1 & US 2008/0173814 A1 & WO 2002/056332 A1 & EP 1271604 A1	1-10
Y	JP 11-135056 A (NIKON CORP.) 21 May 1999, paragraphs [0014], [0052]-[0056], fig. 1, 4, 9 (Family: none)	1-10
Y	JP 2007-51902 A (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORP.) 01 March 2007, paragraphs [0016]-[0020], [0029]-[0033], fig. 1, 2 & US 2007/0069127 A1, paragraphs [0044]-[0048], [0055]-[0059], fig. 1, 2	1-10



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
19.07.2018

Date of mailing of the international search report
31.07.2018

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/JP2018/020719

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-177101 A (HITACHI, LTD.) 27 June 2003, paragraphs [0012], [0025]-[0033], [0095], fig. 2, 21 & US 2003/0053676 A1, paragraphs [0007], [0061]-[0072], [0119], fig. 2, 20	1-10
Y	JP 11-250847 A (HITACHI, LTD.) 17 September 1999, paragraphs [0016], [0017], [0067], fig. 1, 3 & US 6335532 B1, column 3, line 60 to column 4, line 2, column 16, lines 16-28, fig. 2, 3 & US 2002/0053643 A1 & US 2003/0197130 A1 & US 2004/0211919 A1 & US 2006/0060781 A1	1-10
Y	JP 2010-73507 A (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORP.) 02 April 2010, paragraphs [0019], [0022], [0054], [0059], [0090], fig. 1, 7, 11, 12 & US 2009/0309022 A1, paragraphs [0112], [0118], [0145], [0151], [0185], fig. 10, 16, 24, 25	1-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01N23/203(2006.01)i, G01N21/956(2006.01)i

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））

Int.Cl. G01N23/00-23/2276, G01N21/84-21/958, H01J37/00-37/295

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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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）

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 2005-235777 A（株式会社荏原製作所） 2005.09.02, 段落[0053]-[0073], 図1, 4, 6-9 & JP 2007-19033 A & JP 2011-142090 A & US 2002/0088940 A1, 段落[0095]-[0123], 図1, 4, 6-9 & US 2006/0118719 A1 & US 2008/0173814 A1 & WO 2002/056332 A1 & EP 1271604 A1	1-10

☒ 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 | 「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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの |
| 「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 | 「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 |
| 「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） | 「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 |
| 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 | 「&」 同一パテントファミリー文献 |
| 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 | |

国際調査を完了した日

19.07.2018

国際調査報告の発送日

31.07.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

越柴 洋哉

2W

4462

電話番号 03-3581-1101 内線 3258

C (続き) . 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 11-135056 A (株式会社ニコン) 1999.05.21, 段落[0014], [0052]-[0056], 図 1, 4, 9 (ファミリーなし)	1-10
Y	JP 2007-51902 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 2007.03.01, 段落[0016]-[0020], [0029]-[0033], 図 1-2 & US 2007/0069127 A1, 段落[0044]-[0048], [0055]-[0059], 図 1-2	1-10
Y	JP 2003-177101 A (株式会社日立製作所) 2003.06.27, 段落[0012], [0025]-[0033], [0095], 図 2, 21 & US 2003/0053676 A1, 段落[0007], [0061]-[0072], [0119], 図 2, 20	1-10
Y	JP 11-250847 A (株式会社日立製作所) 1999.09.17, 段落[0016]-[0017], [0067], 図 1, 3 & US 6335532 B1, 第 3 欄第 60 行-第 4 欄第 2 行, 第 16 欄第 16-28 行, 図 2-3 & US 2002/0053643 A1 & US 2003/0197130 A1 & US 2004/0211919 A1 & US 2006/0060781 A1	1-10
Y	JP 2010-73507 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 2010.04.02, 段落[0019], [0022], [0054], [0059], [0090], 図 1, 7, 11-12 & US 2009/0309022 A1, 段落[0112], [0118], [0145], [0151], [0185], 図 10, 16, 24-25	1-10