

(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
2010 年 8 月 19 日(19.08.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/092750 A1

- (51) 国際特許分類:
G01M 11/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/000345
- (22) 国際出願日: 2010 年 1 月 22 日(22.01.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2009-030640 2009 年 2 月 13 日(13.02.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社日立製作所 (HITACHI, LTD.) [JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 吉武康裕 (YOSHITAKE, Yasuhiro) [JP/JP]; 〒2440817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社日立製作所 生産技術研究所内 Kanagawa (JP).
▲ 吉▼田実 (YOSHIDA, Minoru) [JP/JP]; 〒2440817

神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社日立製作所 生産技術研究所内 Kanagawa (JP). 岡恵子 (OKA, Keiko) [JP/JP]; 〒2440817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社日立製作所 生産技術研究所内 Kanagawa (JP).

- (74) 代理人: 井上学 (INOUE, Manabu); 〒1008220 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 1 号 株式会社日立製作所内 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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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.

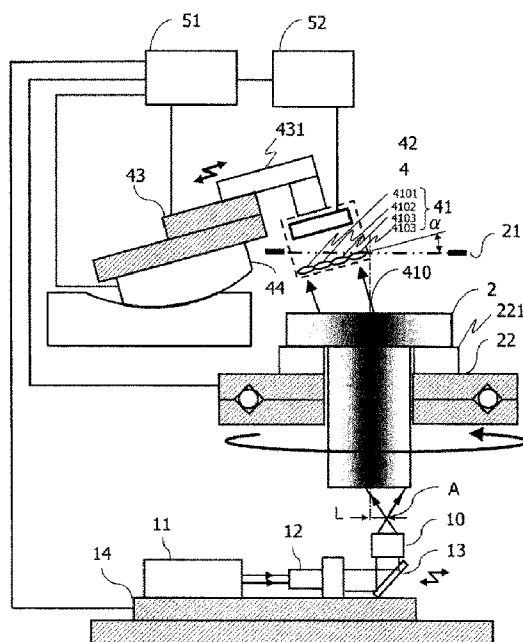
[続葉有]

(54) Title: WAVEFRONT ABERRATION MEASURING METHOD AND DEVICE THEREFOR

(54) 発明の名称: 波面収差測定方法及びその装置

[図1]

図 1



(57) Abstract: When the wavefront aberration of a wide-angle lens the field of view of which is wide compared with the focal length is measured by means of a Shack-Hartmann sensor, the measurement is impossible because the inclination of the wavefront exceeds the inclination permissible value of the Shack-Hartmann sensor. A Shack-Hartmann sensor is inclined in the pupil position of a lens and is controlled so that the inclination of the wavefront is below the permissible value. Images are captured by a step-and-repeat method while the same positions are superposed on one another. The images are combined so that the superposition spots are superposed on one another. Thus, the wavefront aberration of the lens having a large pupil diameter is measured.

(57) 要約: 焦点距離に比べ視野の広い、広角のレンズの波面収差をシャックハルトマンセンサで測定する場合、波面の傾きがシャックハルトマンセンサの傾き許容値を超えるため、測定ができない。シャックハルトマンセンサをレンズの瞳位置で傾け、上記許容値内に収まるように制御する。同一位置を重複させながらステップ&リピートで撮像し、重複スポットが重なるよう合成することにより、瞳径の大きなレンズの波面収差を測定する。



(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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,

CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 波面収差測定方法及びその装置

技術分野

[0001] 本発明は、半導体光学検査装置やプリント板レーザ加工装置等の光学装置に搭載されたレンズの波面収差測定方法及びその装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体ウエハの光学検査装置は、ウエハ上の異物を検出し、異物個数を管理するための装置である。半導体の製造工程に応じて管理したい異物サイズが異なるため、検査装置には光学的倍率可変機能が備わっている。光学的倍率を拡大すると、より小さな異物が検出可能になるが、一方でセンサで検出できる視野も小さくなるため、スループットが小さくなる。従って、半導体ラインでは、特に微細な異物管理が必要な工程に限り、倍率を拡大して検査を行っている。検査装置の検出系は、対物レンズと結像レンズから構成されており、倍率変化は一般的に、結像レンズの焦点距離を変えることによって行っている。

[0003] 大量のウエハを製造するラインでは、複数の光学検査装置が使用されている。各製造工程で異物個数の許容値が予め設定されており、許容値を超えると製造装置のクリーニング等、対応策がとられる。ここで、光学検査装置A、Bの感度（検出可能な異物サイズ）が異なると、許容値を検査装置毎に設定しなければならず、検査装置運用の大きな障害となる。光学検査装置の感度は、検出系のレンズの結像性能に大きく依存する。従って、光学検査装置の感度差を低減するためには、レンズ単体の結像性能、特に波面収差の管理を行う必要がある。

[0004] レンズの波面収差測定方法としては、特許文献1（特開2004-14764号公報）に記載のように、シャックハルトマンセンサを用いる方法が知られている。シャックハルトマンセンサとは、センサに入射する光の波面（位相分布）をアレイレンズで分割、集光し、複数スポットの配列像として2

次元センサで撮像するセンサであり、スポット配列の位置ずれから波面収差係数を算出する。

[0005] 波面収差、または波面収差係数の算出方法は、例えば、上記した特許文献 1（特開 2004-14764 号公報）や特許文献 2（特開 2006-300016 号公報）に開示されている。シャックハルトマンセンサによる波面収差測定は、光路の空気の温度変化や振動等の環境変化に影響されにくい点と、非球面レンズ等で生じる測定波長以上の局所的な波面変化にも対応できる点で、従来、主流であった干渉計による方式と比べ、有利である。この公知例では、露光装置の投影レンズが測定対象となっている。一方、光学検査装置の検出系のレンズは、対物レンズと結像レンズより成る。

[0006] 上述のように、倍率可変のため、結像レンズの焦点距離が変化する。これは結像レンズを交換するか、ズームレンズにすることによって実現される。波面収差は、投影レンズのように、対物レンズと結像レンズを 1 セットで測定することもできるが、得られた収差は、対物レンズで発生したプラスの収差を、結像レンズのマイナスの収差でキャンセルされた結果かも知れない。この場合、異なる焦点距離の結像レンズに変えると、収差が大きく変化する可能性がある。従って、対物レンズ単体の収差測定が望ましい。対物レンズ単体では結像しない（無限系である）ので、上記公知例とは異なる構成での測定方法が必要となる。

[0007] プリント板用のレーザ加工装置においても、上記の半導体用光学検査装置の対物レンズと同様、無限系の $f\theta$ レンズが使われている。この装置は、 $f\theta$ レンズの瞳位置に設置されたガルバノミラーで平行光を偏向し、 $f\theta$ レンズに入射させることで、プリント基板上を集光ビームで走査する。 $f\theta$ レンズは、ガルバノミラーによる光の偏向角 θ と $f\theta$ レンズの焦点距離の積 $f\theta$ でプリント基板上のビーム位置が決まるよう、意図的な歪みを与えられたレンズである。 $f\theta$ レンズも結像レンズではないので、従来の結像型と異なる測定法が必要となる。レーザ加工装置において、 $f\theta$ レンズの収差は、集光ビームの走査位置毎の加工形状に影響を及ぼすので、走査範囲で均一な加工

形状を得るには、収差（波面収差）を管理する必要がある。

[0008] 上記のシャックハルトマンセンサを用いた波面収差測定では、測定対象レンズの収差の他に、測定光学系のレンズアレイやリレーレンズの収差を含んだ収差が測定される。そこで、特許文献1（特開2004-14764号公報）では、測定対象レンズを干渉計他、別手段で単体計測を行っておき、測定光学系収差を含んだデータから、単体での対象レンズのデータを差し引くことによって、測定光学系収差を算出する手法が開示されている。

[0009] 一方、特許文献2（特開2006-30016号公報）では、測定対象レンズのみを、回転等、姿勢変化させて2回測定し、各測定値の差分を求めることにより、測定光学系の収差をキャンセルし、測定対象レンズのみの収差を算出する方法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0010] 特許文献1：特開2004-14764号公報

特許文献2：特開2006-30016号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0011] 上記の、光学検査装置の対物レンズやレーザ加工装置の $f\theta$ レンズは、それ単体では結像しない、無限系のレンズである。図12に無限系の対物レンズ2の波面収差をシャックハルトマンセンサ4で測定する場合の構成を示す。集光レンズ10でA点に集光された光は、対物レンズ2に入射し、平行光となった後、瞳（絞り）21に入射、その後、リレーレンズ301とリレーレンズ302を備えて構成されるリレーレンズ300を介していったん集光された後、平行光となってシャックハルトマンセンサ4で検出される。

[0012] リレーレンズ300は、一方で、瞳21をシャックハルトマンセンサ4上に結像する。視野端での波面収差を測定するため、集光レンズ10は、光軸からLの距離にあるA点に集光し、この点を波面収差測定の測定点とする。

この時、瞳 2 1 に入射する平行光 4 1 0 の角度 α は、対物レンズ 2 の焦点距離 f_1 と距離 L を用いて、

$$\tan \alpha = L / f_1 \quad \cdots \text{(数 1)}$$

で表すことができる。

[0013] 一方、リレーレンズ 3 0 0 の縮小倍率 M は、瞳 2 1 の径 D_{ep} がシャックハルトマンセンサ 4 の検出エリア S で検出されるために、次式を満たす必要がある。

$$M < S / D_{ep} \quad \cdots \text{(数 2)}$$

対物レンズ 2 の開口率を NA で表すと、瞳径 D_{ep} は下記となる。

$$D_{ep} = 2 * f_1 * NA \quad \cdots \text{(数 3)}$$

この時、シャックハルトマンセンサ 4 に入射する角度 β は次式で得られる。

$$\tan \beta = \tan \alpha / M \quad \cdots \text{(数 4)}$$

ここで、対物レンズ 2 の焦点距離を 50 mm、 NA を 0.5、視野端距離 L を 5 mm とすると、(数 3) より、瞳径 $D_{ep} = 2 * 50 * 0.5 = 50$ mm となる。シャックハルトマンセンサ 4 の検出エリア S を 15 mm とすると、(数 2) より縮小倍率 $M = 15 / 50 = 0.3$ となる。(数 1) より、 $\tan \alpha = 5 / 50 = 0.1$ となるので、シャックハルトマンセンサ 4 への入射角 β は、最低でも (数 4) より、 $\tan \beta = 0.1 / 0.3 = 0.33$ となり、角度 β は 18.4 度となる。

[0014] ここで、シャックハルトマンセンサ 4 への入射角の制限を図 1 3 を用いて説明する。図 1 3 はシャックハルトマンセンサ 4 の内部を示す図である。シャックハルトマンセンサ 4 に入射した波面 4 0 0 はアレイレンズ 4 1 により分割される。波面 4 0 0 の (ξ, η) の位置に入射した光線 4 0 1 は、次式により、2 次元センサ 4 2 上で (ξ, η) の位置に対して $\Delta X(\xi, \eta)$ だけずれた位置に集光される。

[0015]

[数5]

$$\tan \theta = -\frac{\Delta X(\xi, \eta)}{f_4} = \frac{\partial W(\xi, \eta)}{\partial \xi} \quad \dots (数5)$$

ここに、Wは波面の位相分布、 f_4 はアレイレンズ41の焦点距離である。

[0016] 一方で、測定可能な波面の傾き θ は、アレイレンズ41が2次元センサ42上にスポットとして結像されるために、3度程度以下である必要がある。したがって上記のように、シャックハルトマンセンサ4への入射角が18.4度となると、3度程度以下という条件が満たされなくなるために測定不可能となる。すなわち、対物レンズ2の瞳21をリレーレンズ300でシャックハルトマンセンサ4へ結像する一般的な方法では、対物レンズ2の波面収差を測定することはできない。そこで、本発明の目的は、リレーレンズ使用時の、シャックハルトマンセンサへの入射角制限をクリアする波面収差を測定する手法を与えることとする。

[0017] 次に、もう1つの課題に関して説明する。上述の特許文献2（特開2006-30016号公報）では、例えば90度回転させて2回測定し、シャックハルトマンセンサ上の位置ずれの差分を求める方式であるが、対象が例えば、球面収差のような回転対称な収差の場合、差分がゼロとなり、収差を算出することができない。そこで、本発明の別の目的は、回転対称な収差に対しても、測定光学系の収差を補正することができる測定手法を与えることとする。

課題を解決するための手段

[0018] 上記目的を達成するため、本発明では、リレーレンズを介さず、直接、対物レンズの瞳位置にシャックハルトマンセンサを設置する構成とする。これにより、シャックハルトマンセンサへの入射角を小さくすることができる。しかし、上記したように、許容値である3度以下にはできないので、シャックハルトマンセンサを、波面の傾き方向に傾斜させる。これにより、シャッ

クハルトマンセンサへの入射角制限3度以下をクリアすることができる。

[0019] また、瞳径は、シャックハルトマンセンサ中の2次元センサの検出視野を超えるので、シャックハルトマンセンサを走査することによって、瞳径全域をカバーする。シャックハルトマンセンサの走査方法としては、2次元センサをステップ&リピートで2次的に走査する方法と、瞳径をカバーする1次元センサにより、1次的に走査する方法がある。

[0020] 前者では、走査ステージのピッチングとヨーイングが、瞳全域合成時のスポット集光位置の誤差に影響するので、走査ステージのピッチングとヨーイングを3軸のレーザ測長器、またはオートコリメータで計測し、誤差を補正する方式とする。後者は、走査ステージのピッチずれ、ヨーイングが誤差となるので、2軸のレーザ測長器で計測し、誤差を補正する方式とする。これらの手法により、センサの検出視野を超える瞳全域の波面収差を高精度に測定することができる。

[0021] シャックハルトマンセンサへの入射角制限をクリアする別の発明は、視野端で生じる瞳位置での波面の傾きを、瞳位置に設置したガルバノミラーで補正することにより、対物レンズ視野全域の測定点に対して、シャックハルトマンセンサへの入射角 β を常に0にする。これにより、リレーレンズで瞳を、センサ検出視野内に収まるよう縮小結像しても、入射角制限をクリアすることができる。

[0022] 測定光学系の収差を測定するための発明としては、点光源で発生する球面波を、他の光学系を介さず、直接シャックハルトマンセンサで測定することにより、シャックハルトマンセンサ自身の収差によるスポット光位置ずれのデータを測定し、このデータを、対物レンズ測定時のデータから差し引く。これにより、対物レンズのみの波面収差を算出することができ、従来例では不可能だった、回転対称の波面収差も高精度に測定することが可能になる。

発明の効果

[0023] 本発明によれば、シャックハルトマンセンサへの入射角を小さくできるので、無限系の対物レンズの波面収差の測定がシャックハルトマンセンサで可

能となり、従来の干渉計に比べて、環境に影響されにくい測定が可能になる。また、シャックハルトマンセンサ自身の波面収差を点光源で、直接測定することにより、測定対象のレンズのみの高精度な波面収差測定が可能になる。

[0024] 上記手段により、レンズの波面収差を管理することにより、半導体光学検査装置やプリント基板レーザ加工装置の異物検出感度や加工形状が均一化され、半導体ラインでの複数の光学検査装置の運用効率が向上し、レーザ加工の品質が向上するといった効果が得られる。

図面の簡単な説明

[0025] [図1]第1の実施例における波面収差測定装置の概略の構成を示す正面の-断面図である。

[図2]第1の実施例における、対物レンズの瞳上の2次元センサの撮像の様子を示す瞳面の平面図である。

[図3]対物レンズ2が搭載される回転ステージ22と集光点Aの関係を示す瞳面の平面図である。

[図4]アレイレンズの収差を測定する場合の波面収差測定装置の概略の構成を示す正面の-断面図である。

[図5]本発明の第2の実施例における波面収差測定装置の概略の構成を示す正面の-断面図である。

[図6]第2の実施例における、対物レンズの瞳上の2次元センサの撮像の様子を示す瞳面の平面図である。

[図7]ステージにピッチングがある場合の、2次元センサ上の集光スポット位置ずれを説明するシャックハルトマンセンサの平面の断面図である。

[図8]本発明の第3の実施例における波面収差測定装置の概略の構成を示す正面の-断面図である。

[図9]ステージにヨーイングがある場合に、対物レンズの瞳上を1次元センサで撮像する領域を示す対物レンズの瞳面の平面図である

[図10]レーザ測定器で1軸ステージとレーザ測定器のヨーイングを計測する

状態を示す 1 軸ステージの平面図である。

[図11] 本発明の第 4 の実施例における波面収差測定装置の概略の構成を示す正面の-断面図である。

[図12] 対物レンズの波面収差をリレーレンズを介して測定するための概略構成を示す光学系の正面の略断面図である。

[図13] 波面に局所的な傾きがある場合にアレイレンズにより 2 次元センサ上に集光される位置を示すシャックハルトマンセンサの平面の断面図である。

発明を実施するための形態

[0026] 点光源を用いて無限系の対物レンズの波面収差を測定するシャックハルトマン型測定装置において、対物レンズの瞳位置において、シャックハルトマンセンサを、点光源の位置に応じて波面と平行になるよう傾斜し、走査する。走査時のピッチング、ヨーイングを補正し、集光スポット位置を求め、これにより波面収差係数を算出する。

本発明の実施の形態を、図を用いて説明する。

実施例 1

[0027] 本発明の第 1 の実施例を、図 1 ～図 4 に基づいて説明する。図 1 は本実施例の全体構成図である。11 は平行光を発射する光源、12 はビームエキスパンダ、10 は集光レンズ、13 は折り曲げミラーでビームエキスパンダ 12 を通過した光の光路を集光レンズ 10 の方向に折り曲げる。14 はステージで、光源 11、ビームエキスパンダ 12、折り曲げミラー 13、集光レンズ 10 を載置して少なくとも 1 軸方向に移動可能な構成を有している。

[0028] 2 は対物レンズ、22 は対物レンズ 2 を保持して回転可能な回転ステージ、221 は取り付け部材で対物レンズ 2 を回転ステージ 22 に固定している。回転ステージ 22 は対物レンズ 2 を保持した状態で図示していない駆動機構により図面に垂直な方向に移動集光レンズ 10 の光軸から完全に外れた位置に退避可能になっている。4 はシャックハルトマンセンサ、41 は微小なレンズ 4101、4102、4103、4104 を平面内に多数（図 1 には 4 個の例を示したが、もっと多数の微小なレンズを並べても良い）アレイ状

に配列して構成したアレイレンズ、42は2次元センサ、43は少なくとも1軸方向に移動可能なステージ、44はゴニオステージ、431はステージ43に固定された支持部材でシャックハルトマンセンサ4を支持している。

[0029] ゴニオステージ44は図示していないZステージで図面の上下方向に移動可能に指示されている。51は制御系で、ステージ14、回転ステージ22、ゴニオステージ44、ステージ43を制御する。52は処理系で、制御系51の制御信号を用いてシャックハルトマンセンサ4の2次元センサ42からの出力信号を処理する。

[0030] 以上のような構成において、ステージ14に搭載された光源11から出射した平行光は、ビームエキスパンダ12により拡大された後、集光レンズ10によって、測定点A点に集光される。A点を出射した光は、被測定レンズである対物レンズ2に入射し、A点の位置に応じて傾斜した平行光410となって、対物レンズ2の瞳21に設置されたシャックハルトマンセンサ4に入射する。

[0031] シャックハルトマンセンサ4の傾斜角 α は、上述の(数1)を用いて、対物レンズ2の焦点距離 f 1と光軸とA点の距離 L より得られる。傾斜角 α は、制御系51がステージ14の位置を得て算出し、ゴニオステージ44を傾斜角 α となるよう制御する。平行光410の一部は、アレイレンズ41によって分割され、各部の波面の傾きに応じて、2次元センサ42上に集光スポットとして撮像される。次に制御系51は、ステージ43を駆動して、瞳21と傾斜角 α を成す面の次の撮像位置にシャックハルトマンセンサ4を移動させ、平行光410の別の部分を撮像する。この操作を繰り返して、瞳21全ての撮像を行う。

[0032] 次に図2(a)乃至(e)を用いて、撮像方法に関して説明する。図2(a)は、ステージ43が第1の位置にある時の瞳21の領域上の2次元センサ42による撮像範囲4210を示す。同様に、図2(b)、(c)、(d)はステージ43が第2、第3、第4の位置における撮像範囲4220、4230、4240を示す。第1から第4の位置における各撮像範囲4210、

4 2 2 0, 4 2 3 0 および 4 2 4 0 は、それぞれは一部領域が重なるように設定されている。

[0033] 格子 4 2 1 2 は、その交点 4 2 0 2 がアレイレンズ 4 1 を構成する各微小レンズそれぞれの設計上（理想状態）の集光スポット位置を示す。実際の集光スポット 4 2 1 1 は、収差のために、この位置からずれてしまう。処理系 5 2 は、各画像で集光スポットの重心位置を求めた後、各画像の重複スポット配列 4 2 1 3, 4 2 1 4, 4 2 2 4, 4 2 3 3 の座標が一致するよう、各スポット配列に回転移動、平行移動を施し、繋ぎ合わせ、最終的に図 2（e）に示すような位置ずれが補正されて合成されたスポット配列 4 5 0 を得る。このように、回転移動、平行移動で合わせ込むことにより、ステージ 4 3 による移動時のヨーイング、ピッチングが補正される。

[0034] ここで、図 3 により、対物レンズ 2 が搭載される回転ステージ 2 2 の機能に関して説明する。対物レンズ 2 の波面収差は、対物レンズ 2 の光軸 2 0 0 に対する相対位置である、測定点 A（集光レンズ 1 0 の集光点 A）によって変わるため、対物レンズ 2 の視野内の全域で測定する必要がある。これに対して、ゴニオステージ 4 4 は 1 軸の傾斜ステージであり、対物レンズ 2 の特定の半径方向の測定点 A の位置に対して、傾斜角が制御される。これ以外の測定点設定を行うため、対物レンズ 2 を回転ステージ 2 2 で回転させる。例えば、制御系 5 1 が回転ステージ 2 2 を 2 2.5 度おきに回転させることにより、対物レンズ 2 の視野内を概ね全て測定することができる。

[0035] 即ち、図 3 に示したケースの場合、回転ステージ 2 2 をある位置に固定した状態でゴニオステージ 4 4 を 1 軸方向に順次傾斜させていくことにより軸 2 0 0 1 に沿った方向で複数の測定点 2 0 0 1 1、2 0 0 1 2、2 0 0 1 3・・・2 0 0 1 n における波面収差を測定し、次に回転ステージ 2 2 を 2 2.5 度回転させた後に固定した状態で同様にゴニオステージ 4 4 を同様に 1 軸方向に順次傾斜させていくことにより軸 2 0 0 2 に沿った方向で複数の測定点 2 0 0 2 1、2 0 0 2 2、2 0 0 2 3・・・2 0 0 2 n における波面収差を測定する。これを回転ステージを 2 2.5 度ピッチで回転させながら繰

り返すことで、対物レンズ2の視野201内を概ね全ての領域に渡って波面収差を測定することができる。

[0036] 次に、図4により、アレイレンズ41の収差に起因する集光スポット位置ずれを補正する補正法について説明する。まず、図示していない機構により回転ステージ22を集光レンズ10の光軸から退避させた状態で、制御系51が図面の上下方向に移動可能なZステージ46を駆動し、測定点Aから発散する球面波100がアレイレンズ41全体に入射する位置に移動する。

[0037] 今、アレイレンズ41の中心を(0, 0)とするアレイレンズ41の配列を(i, j)、測定点Aからアレイレンズ41までの距離をR、アレイレンズのX, Y方向のピッチを ΔP_x , ΔP_y とすると、(i, j)番目のアレイレンズの集光スポットの格子点上の理想値 $\Delta X_0(i, j)$, $\Delta Y_0(i, j)$ は、次式で与えられる。

$$\Delta X_0(i, j) = \Delta P_x * i * f_4 / R \quad \dots \text{(数6)}$$

$$\Delta Y_0(i, j) = \Delta P_y * j * f_4 / R \quad \dots \text{(数7)}$$

ここに、 f_4 はアレイレンズ41の焦点距離である。

[0038] 2次元センサ42で実際に測定された集光スポットの位置ずれを $\Delta X_s(i, j)$, $\Delta Y_s(i, j)$ とすると、アレイレンズ41の収差起因の位置ずれ $\Delta X_a(i, j)$, $\Delta Y_a(i, j)$ は、次式で得られる。

$$\Delta X_a(i, j) = \Delta X_s(i, j) - \Delta X_0(i, j) \quad \dots \text{(数8)}$$

$$\Delta Y_a(i, j) = \Delta Y_s(i, j) - \Delta Y_0(i, j) \quad \dots \text{(数9)}$$

処理系52は、 $\Delta X_a(i, j)$, $\Delta Y_a(i, j)$ の値を記憶しておき、上述の対物レンズ2の測定時の集光スポット位置ずれ $\Delta X(i, j)$, $\Delta Y(i, j)$ を次式により補正する。

$$\Delta X_m(i, j) = \Delta X(i, j) - \Delta X_a(i, j) \quad \dots \text{(数10)}$$

$$\Delta Y_m(i, j) = \Delta Y(i, j) - \Delta Y_a(i, j) \quad \dots \text{(数11)}$$

)

以上の処理により、アレイレンズ41の収差の影響を受けない、対物レンズ2の波面収差の測定が可能になる。

実施例 2

[0039] 本発明の第2の実施例を、図5～図7を用いて説明する。図5は、ステージ23のヨーイング、ピッチングにより発生する誤差を補正する波面収差測定装置の構成を示す。基本的な構成は、図1に示した第1の実施例と同じであり、同じ部品には同じ番号を付している。本実施例においては、ゴニオステージ44に載置したステージ43にオートコリメータ45を取り付けた点が図1に示した第1の実施例と異なる。オートコリメータ45は、ステージ43のヨーイング角 ω 、ピッチング角 γ を計測し、処理系52に信号を送る。

[0040] 図6(a)乃至(e)に、ヨーイング誤差 ω 、ピッチング誤差 γ が生じた場合の撮像の様子を示す。図6(a)乃至(d)に示した状態は、図2(a)乃至(d)に示したものと撮像の条件が基本的には同じであり、図6(a)にはステージ43が第1の位置にある時の対物レンズ2の瞳21の領域上の2次元センサ42による撮像範囲4210を示す。同様に、図6(b)、(c)、(d)はステージ43が第2、第3、第4の位置における撮像範囲6220、6230、6240を示す。格子6212は、その交点6202がアレイレンズ41を構成する各微小レンズ(図1に示した4101、4102、4103、4104)それぞれの設計上(理想状態)の集光スポット位置を示す。実際の集光スポット6211(図6(a)乃至(d)で●で示した位置)は、収差のために、この位置からずれてしまう。

[0041] オートコリメータ45からの信号を受けた処理系52は、計測したヨーイング誤差 ω により、次式で座標変換し、図6(b)に示すように撮像範囲6250のずれを修正してスポット6252の配列を補正する。

[0042]

[数12]

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(-\omega) & -\sin(-\omega) \\ \sin(-\omega) & \cos(-\omega) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}$$

・・・(数12)

次に、ステージ43のピッチング誤差 γ と2次元センサ42上の誤差 ε の関係を図7を用いて説明する。この場合、実施例1で説明したような画像間で重複スポット配列を重複させて撮像することは不要となる。2次元センサ42が、ステージ43のピッチングにより γ だけ傾く時、ステージ43に固定された支持部材431で支持されている2次元センサ42上のシフト量 ε は次式で得られる。

$$\varepsilon = f_4 * \tan \gamma \quad \cdots \text{(数13)}$$

ここに、 f_4 はアレイレンズ41の焦点距離である。処理系52は、オートコリメータ45で測定されたピッチング角 γ からシフト量 ε を算出し、図6(d)に示すようにスポット配列4260を補正する。

[0043] このようにオートコリメータ45でステージ43の移動誤差を計測することで、ステージ43の各位置で撮像して得た画像におけるスポット配列誤差を補正でき、この誤差を個性した各画像を合成することにより、図6(e)に示すような位置ずれが補正されて合成されたスポット配列650を得ることができる。

実施例 3

[0044] 本発明の第3の実施例を図8、図9により説明する。図8は、瞳21の画像を取得する別の装置構成を示す。第1の実施例と同じ構成については、同じ番号を付している。第3の実施例において第1及び第2の実施例と異なる点は、レンズアレイ411を固定して対物レンズ2の瞳21の全面をカバーする点である。すなわち、レンズアレイ411を対物レンズ2の瞳21の全面をカバーする領域に多数の微小レンズ4111、4112、4113・・・を格子状に配列して構成し、このレンズアレイ411を固定部材432を

介してゴニオステージ44に固定して1次元センサ421を一方向に走査してレンズアレイ411の各微小レンズ4111, 4112, 4113・・・によるそれぞれの集光スポットを撮像する点である。

[0045] 1次元センサ421は図8で紙面に垂直な方向に瞳21の直径以上の撮像範囲をもち、1軸ステージ430に搭載されている。1軸ステージ430の移動距離は、レーザ測長器451により計測される。1軸ステージ430の駆動は制御系51により行われ、処理系52は、レーザ測長器451の位置信号を元に、レンズアレイ411で撮像された1次元像を2次元画像に合成する。これにより、1方向の1回の走査で、2次元CCDでは直接撮像が不可能な大きな瞳の像を撮像することができる。ここで、図9に1次元センサ421の撮像領域4215の軌跡を示す。1軸ステージ430にヨーイング誤差が発生すると、撮像領域の回転誤差4217が生じる。

[0046] 図10には、1軸ステージ430の平面図を示す。レーザ測長器451は、2軸のビームで計測するため、1軸ステージ430のヨーイング角 δ が計測可能である。処理系52は計測したヨーイング角 δ から、画像合成時に撮像領域の回転誤差4217を補正する。これによって、1軸ステージ430が高精度でないステージであっても、正確な波面収差の測定が可能となる。なお、1次元センサ421を使用する場合、1軸ステージ430のピッチングの影響は走査方向の1画素内に留まるため、波面収差測定精度への影響は殆ど無い。

実施例 4

[0047] 本発明の第4の実施例を図11により説明する。図11は、測定点Aが軸外にある場合に発生する波面の傾きを常に一定方向に補正する波面収差測定装置の構成を示す。第1の実施例と同じ構成については、同じ番号を付している。

[0048] レーザ加工装置用の $f\theta$ レンズのように、瞳面21と対物レンズ2との間に十分なスペースがある場合、瞳面211の位置にガルバノミラー60を設置することができる。制御系511は、ステージ14の位置信号（図示して

いないレーザ測長器などのポジションセンサでステージ14の位置を検出して得た信号)から、測定点Aの光軸までの距離Lを算出し、(数1)を用いて、瞳面での波面の傾斜角 α (図1参照)を得、反射光601が常に光軸600の方向に向くよう、ガルバノミラー60の角度 ϕ を制御する。具体的には、傾斜角 α に対してガルバノミラーを $\alpha/2$ だけ傾けることにより、反射光601を光軸600の方向に向くよう制御できる。反射光601は、固定ミラー61、リレーレンズ3011、固定ミラー62、リレーレンズ3021を介して、シャックハルトマンセンサ4に平行光として入射する。

[0049] この構成において、シャックハルトマンセンサ4は図示していない支持部材により支持されている。リレーレンズ3011とリレーレンズ3021は、図12に示したリレーレンズ301および302と同じ構成を取り、リレーレンズ3011と瞳面211の光軸上の距離はリレーレンズ3011の焦点距離 f_2 (図12参照)、リレーレンズ3021とアレイレンズ41との距離は、リレーレンズ3021の焦点距離 f_3 、リレーレンズ3011、3021の光軸上の距離は f_2+f_3 で設置されている。これにより、アレイレンズ41は、瞳面211と共役な関係となり、アレイレンズ41に、全体の傾斜角がゼロで、瞳面211上と等しい位相分布をもつ波面が入射する。リレーレンズ3011とリレーレンズ3021による倍率は、(数2)を満たすように決められる。

[0050] 本実施例によれば、測定点Aの位置に応じて、シャックハルトマンセンサ4を移動させる必要がなく、常に固定位置に設定すれば良い。ガルバノミラー60を制御するだけなので、実施例1～3に比べて簡単な構成で、軸外の波面収差測定が可能となる。

産業上の利用可能性

[0051] 以上説明したように、本発明によれば、半導体ウエハ製造ラインにおいて、感度に機差のない光学検査装置を実現するためのレンズ管理を行うことができる。また、プリント基板用のレーザ加工装置においても、走査範囲全ての加工形状の均一性を保証するレンズ管理を行うことができる。さらに、ハ

ードディスク、液晶やプラズマテレビ、有機EL等の基板用の欠陥検査やレーザ加工、レーザ修正等においても、感度、加工形状の均一性確保に適用することにより、これらのデバイスの高歩留まり生産が可能になる。

符号の説明

[0052] 10・・・集光レンズ 11・・・光源 12・・・ビームエキスパ
 ンダ 13・
 ・ ・ 折り曲げミラー 14・・・ステージ 15・・・2次元センサ
 2・・・対物レンズ 21・・・瞳 211・・・瞳面 22・
 ・ ・ 回転ステージ 200・・・光軸 301・・・リレーレンズ
 302・・・リレーレンズ 4・・・シャックハルトマンセンサ 41
 ・ ・ ・ アレイレンズ 42・・・2次元センサ
 421・・・1次元センサ 430・・・1軸ステージ 451・・・
 レーザ測長器
 43・・・ステージ 44・・・ゴニオステージ 45・・・オー
 トコリメータ
 46・・・Zステージ 51・・・制御系 52・・・処理系
 60・・・ガルバノミラー 61・・・折り曲げミラー 62・・・折
 り曲げミラー

請求の範囲

- [請求項1] 平面内で移動可能な第1のテーブル手段と、
該第1のテーブル手段に載置されて点光源を形成する点光源形成手段と、
と、
測定対象である被検査レンズを載置して回転可能な第2のテーブル手段と、
前記点光源形成手段で形成された点光源から出射して前記第2のテーブル手段に載置された被検査レンズを透過した光を検出するシャックハルトマンセンサと、
前記光を検出したシャックハルトマンセンサからの出力信号を処理して前記被検査レンズの波面収差を求める信号処理手段と、
を備えた波面収差測定装置であって、
調整手段を更に備え、該調整手段により、前記点光源形成手段の点光源から出射して前記第2のテーブル手段に載置された被検査レンズを透過した光を該被検査レンズの瞳面または該瞳面と共役な面において前記点光源の位置に応じて前記シャックハルトマンセンサで検出するように前記シャックハルトマンセンサの傾き及び位置または前記被検査レンズを透過した光の光路を調整することを特徴とする波面収差測定装置。
- [請求項2] 前記調整手段は、前記被検査レンズの瞳面に対する前記シャックハルトマンセンサの傾き角を調整するゴニオステージと前記被検査レンズの瞳面における前記シャックハルトマンセンサの位置を調整する平面内で移動可能なテーブルとを備えていることを特徴とする請求項1記載の波面収差測定装置。
- [請求項3] 前記調整手段は、前記点光源から出射して前記第2のテーブル手段に載置された被検査レンズを透過した光が前記被検査レンズの光軸に沿って進むように前記被検査レンズの瞳面において前記透過した光の光路を調整する回動可能なミラーと、該回動可能なミラーで光路を調整

された光を透過して前記瞳面と共役な面を形成するリレーレンズとを有し、該リレーレンズにより形成された前記瞳面と共役な面に前記シヤックハルトマンセンサを設置したことを特徴とする請求項 1 記載の波面収差測定装置。

[請求項4]

点光源を形成する点光源形成手段と、
該点光源形成手段を載置して平面内で移動可能な第 1 のテーブル手段と、
測定対象である被検査レンズを載置する第 2 のテーブル手段と、
前記点光源形成手段で形成された点光源から出射して前記第 2 のテーブル手段に載置された被検査レンズを透過した光を検出するシヤックハルトマンセンサと、
該シヤックハルトマンセンサを支持する支持手段と、
前記光を検出したシヤックハルトマンセンサからの出力信号を処理して前記被検査レンズの波面収差を求める信号処理手段と、
全体を制御する制御手段と
を備えた波面収差測定装置であって、
前記支持手段は前記シヤックハルトマンセンサを載置して 1 軸の周りに揺動可能なゴニオステージを有し、前記制御手段は前記点光源形成手段で形成された点光源の位置に応じて前記ゴニオステージを駆動して前記シヤックハルトマンセンサの傾き角度を制御することを特徴とする波面収差測定装置。

[請求項5]

前記制御手段は該第 1 のテーブル手段を駆動して前記点光源形成手段を前記被検査レンズの物面内で移動させるとともに、該点光源形成手段により形成された点光源と前記第 2 のテーブル手段に載置された被検査レンズの光軸との距離に応じて前記ゴニオステージを駆動して前記シヤックハルトマンセンサを傾斜させることを特徴とする請求項 4 項記載の波面収差測定装置。

[請求項6]

前記ゴニオステージ上に設置された第 3 のテーブル手段を更に備え、

前記支持手段は、前記第3のテーブル手段を介して前記シャックハルトマンセンサを支持し、前記制御手段は前記点光源形成手段で形成された点光源の位置に応じて前記ゴニオステージを駆動して前記シャックハルトマンセンサの傾き角度を制御するとともに前記第3のテーブル手段を駆動して前記シャックハルトマンセンサの位置を制御することを特徴とする請求項4記載の波面収差測定装置。

[請求項7]

光源から発射された光を集光させて点光源を形成し、
該点光源から出射して被検査レンズを透過した光をシャックハルトマンセンサで検出し、前記透過した光を検出したシャックハルトマンセンサからの出力信号を処理して前記被検査レンズの波面収差を求める波面収差測定方法であって、
前記点光源から出射して前記被検査レンズを透過した光を該被検査レンズの瞳面または該瞳面と共役な面において前記シャックハルトマンセンサで検出するように前記シャックハルトマンセンサの傾き及び位置または前記被検査レンズを透過した光の光路を調整することを特徴とする波面収差測定方法。

[請求項8]

前記被検査レンズを透過した光を該被検査レンズの瞳面または該瞳面と共役な面において前記シャックハルトマンセンサで検出するように前記シャックハルトマンセンサの位置を調整することを、前記シャックハルトマンセンサをゴニオステージに載置して該ゴニオステージの傾き角を制御して前記被検査レンズの瞳面に対する前記シャックハルトマンセンサの傾き角を調整することを特徴とする請求項7記載の波面収差測定方法。

[請求項9]

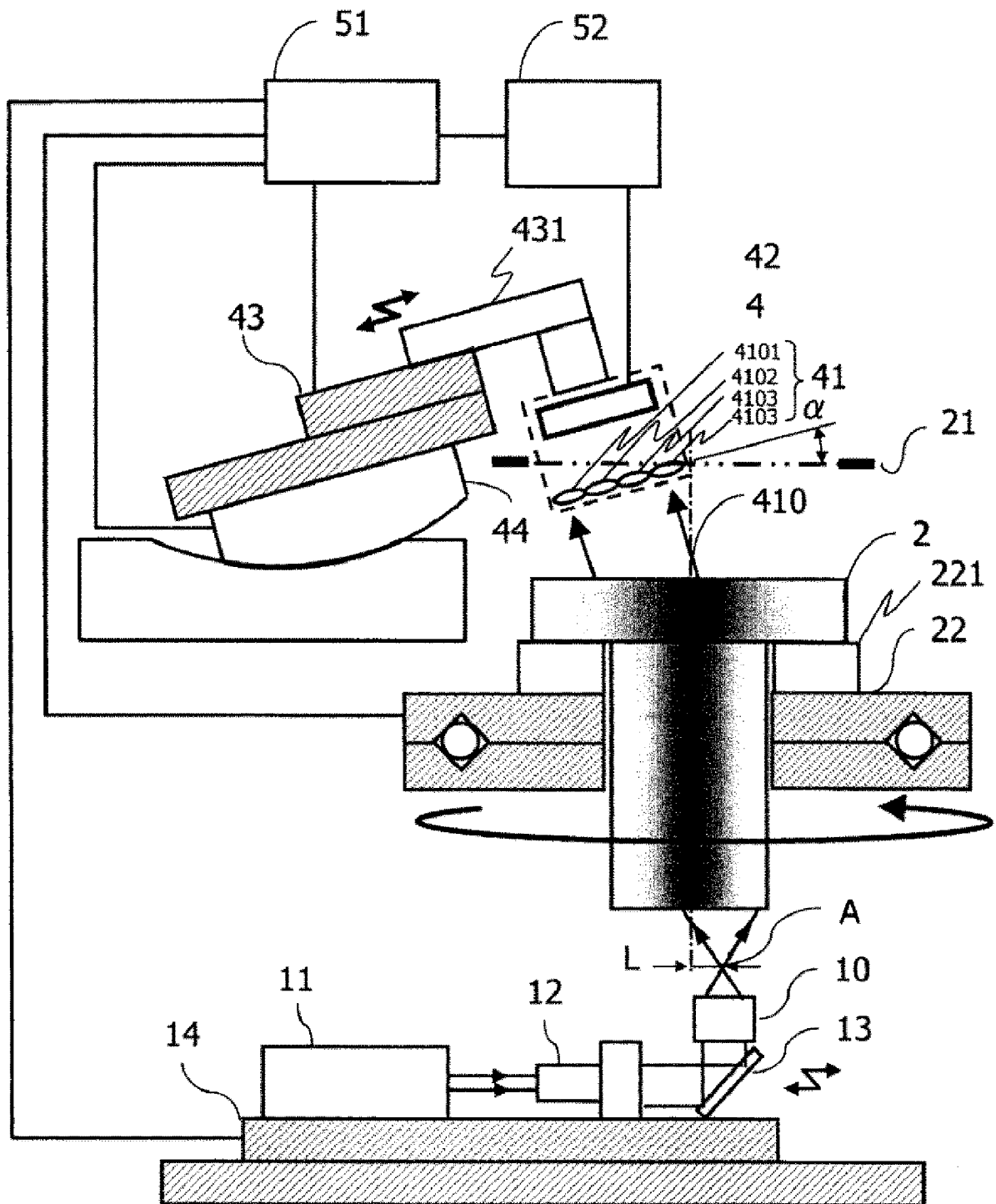
前記被検査レンズを透過した光を該被検査レンズの瞳面または該瞳面と共役な面において前記シャックハルトマンセンサで検出するように前記シャックハルトマンセンサの位置を調整することを、前記シャックハルトマンセンサをゴニオステージに搭載した少なくとも一軸方向に移動可能なテーブルに載置して該ゴニオステージの傾き角を制御し

て前記テーブルで該ゴニオステージの位置を制御することを特徴とする請求項 7 記載の波面収差測定方法。

- [請求項10] 前記被検査レンズを透過した光を該被検査レンズの瞳面または該瞳面と共役な面において前記シャックハルトマンセンサで検出するように前記被検査レンズを透過した光の光路を調整することを、前記点光源から出射して前記被検査レンズを透過した光が前記被検査レンズの光軸に沿って進むように前記被検査レンズの瞳面において回動可能なミラーを用いて前記透過した光の光路を調整し、該光路を調整された光をリレーレンズを透過させることにより前記瞳面と共役な面を形成し、該形成した共役な面に配置した前記シャックハルトマンセンサで前記透過した光を検出することを特徴とする請求項 7 記載の波面収差測定方法。

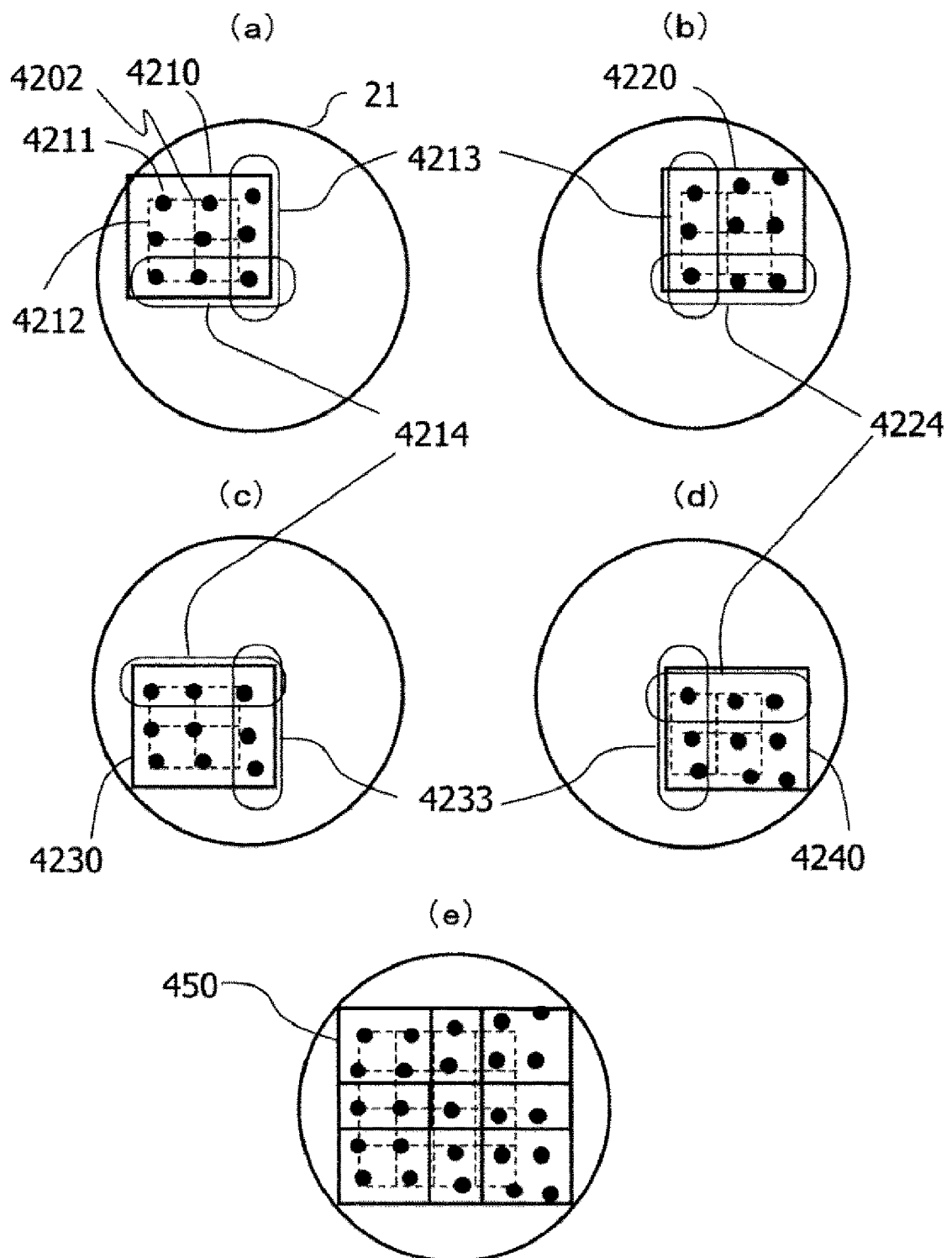
[図1]

図 1



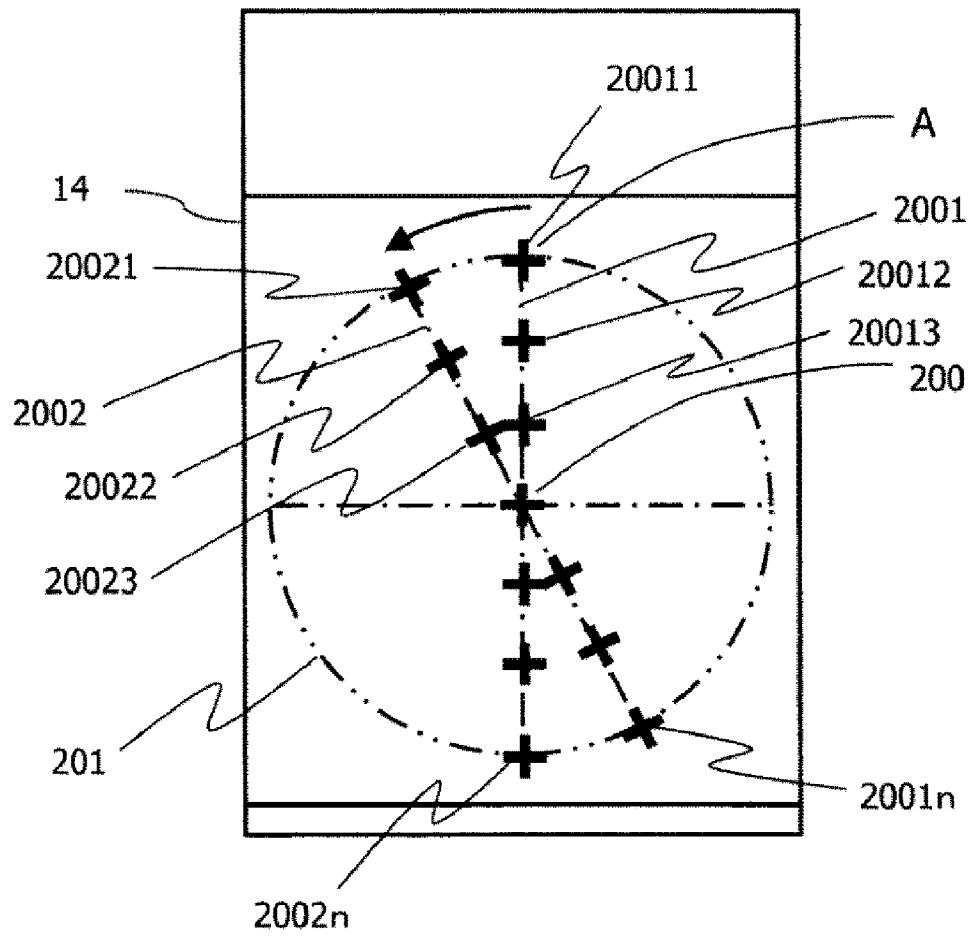
[図2]

図 2



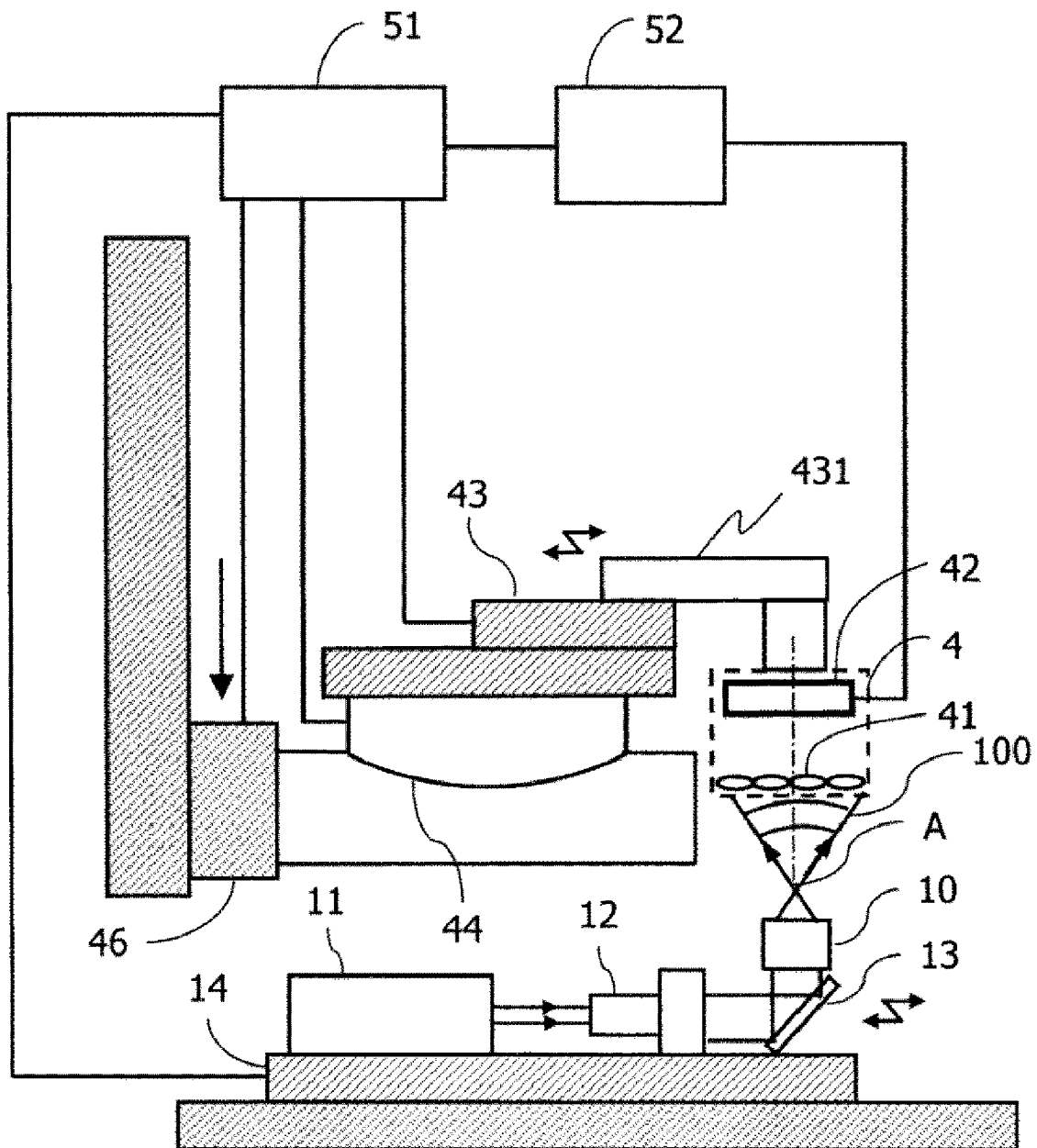
[図3]

図 3



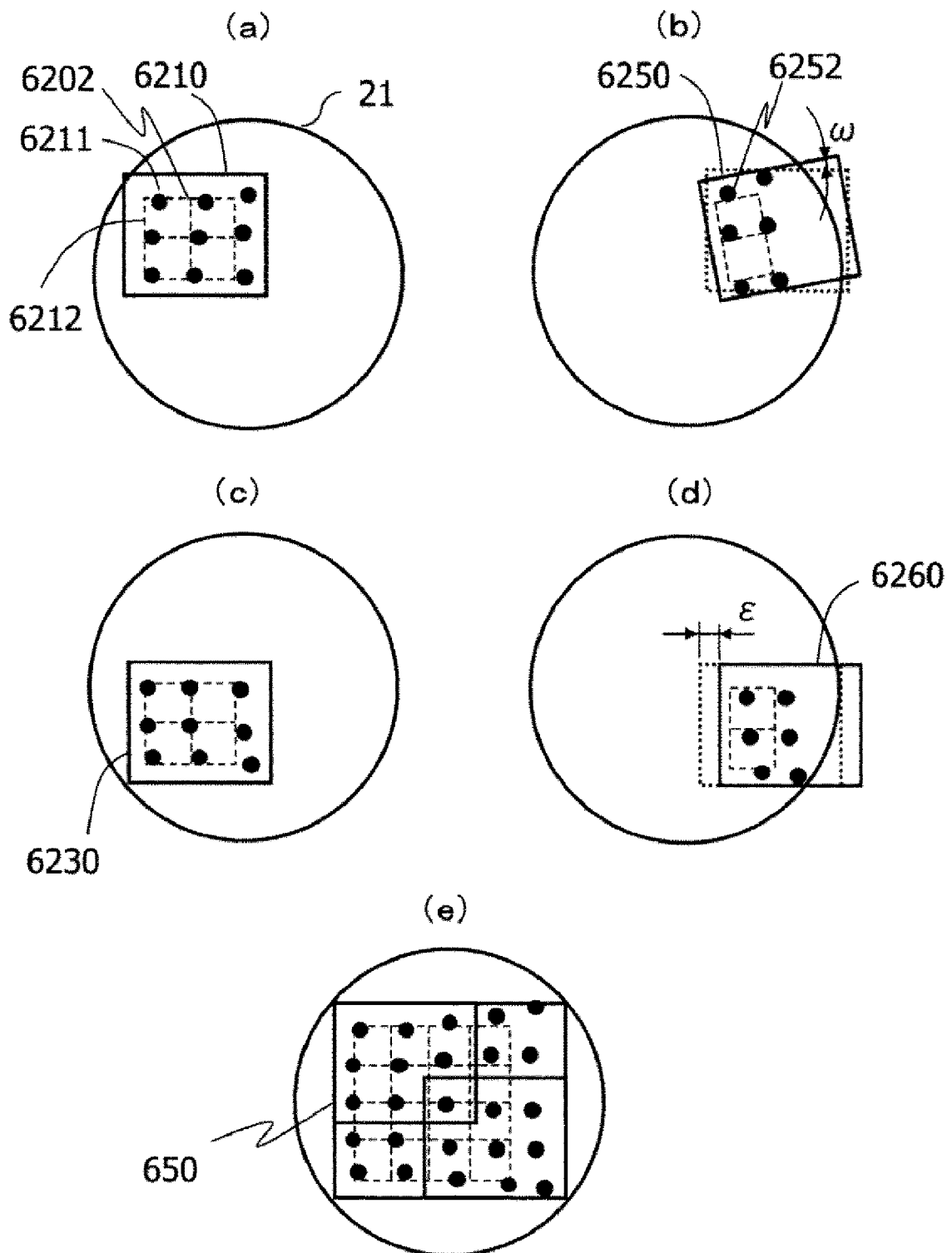
[図4]

図 4



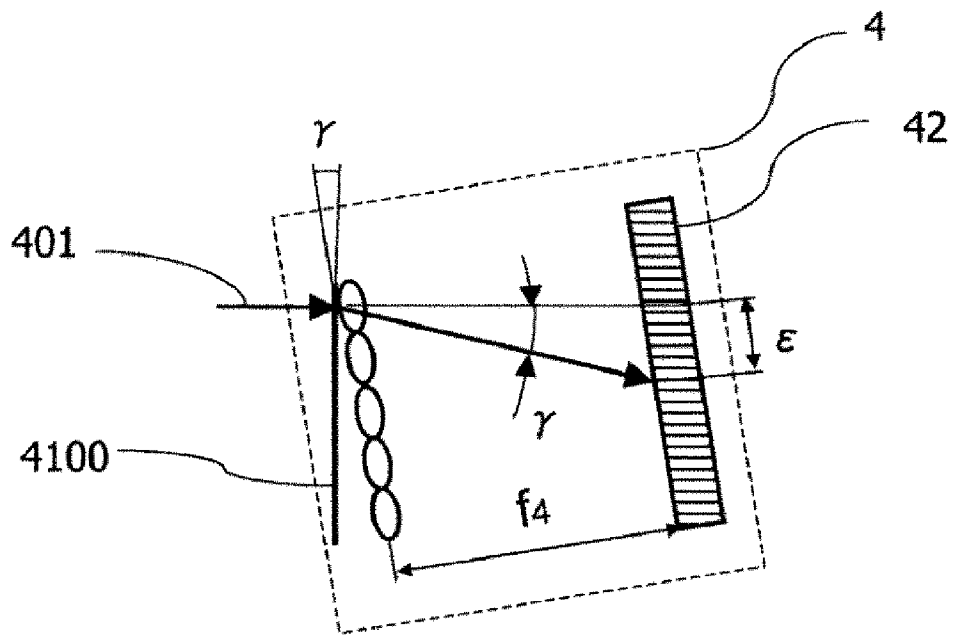
[図6]

図 6

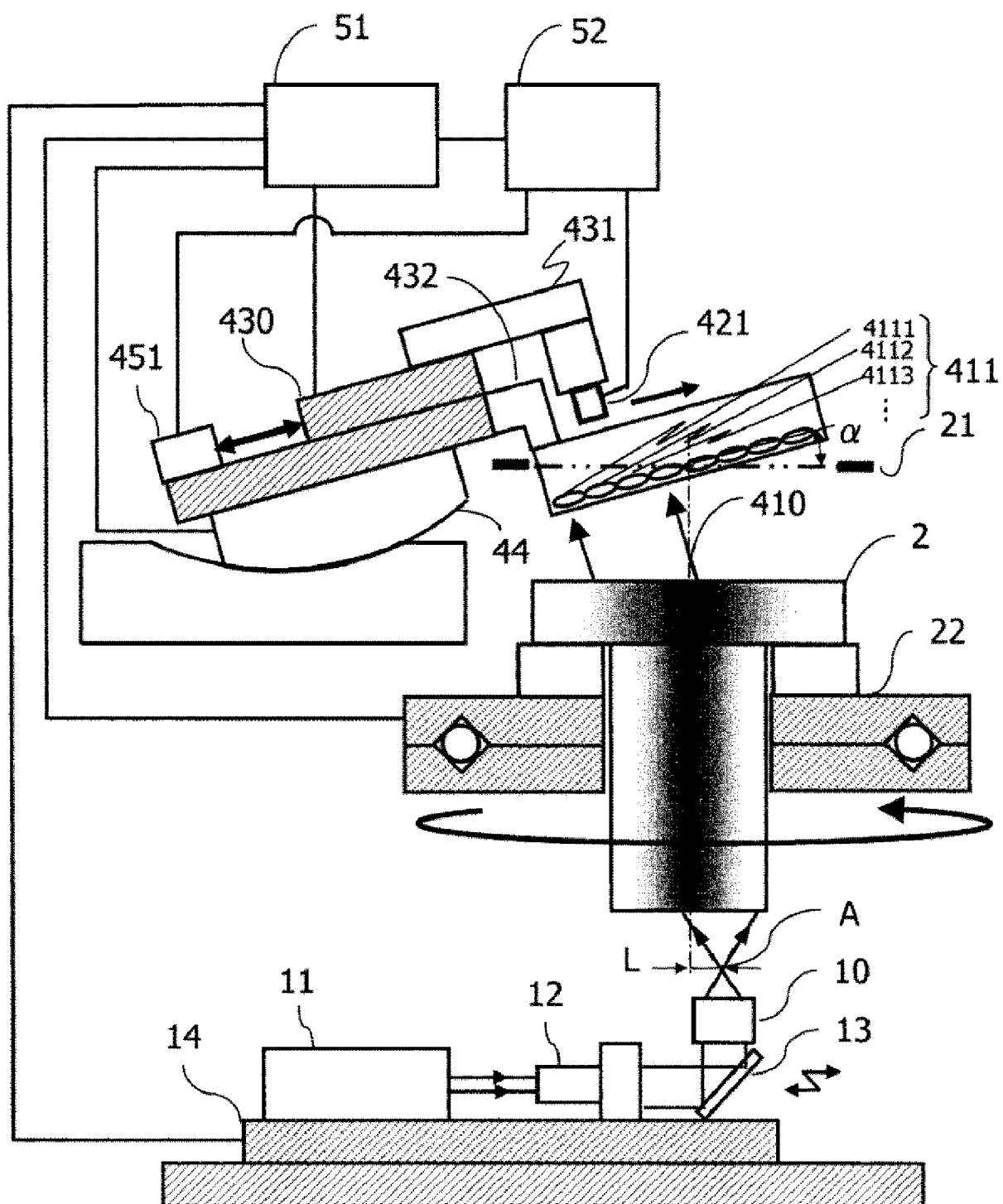


[図7]

図 7

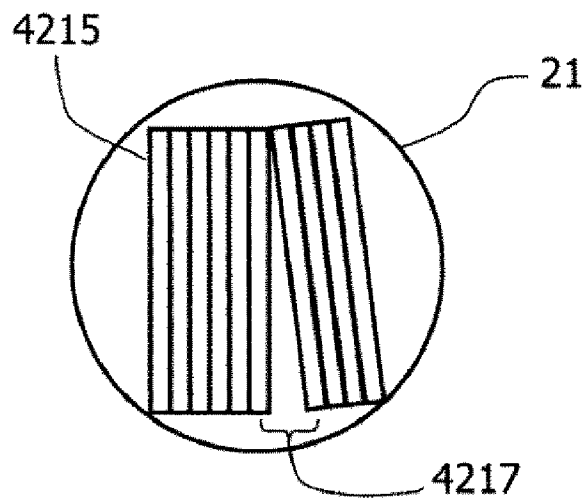


[図8]



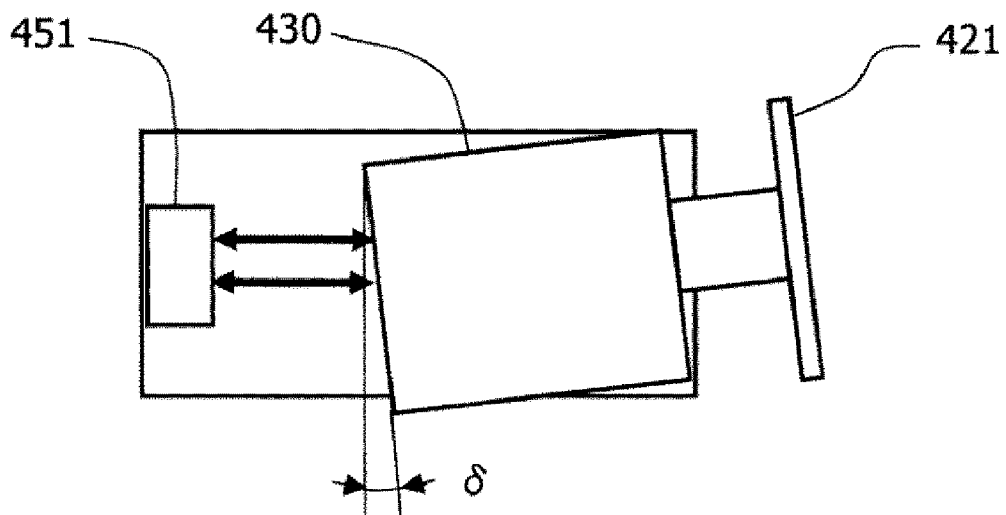
[図9]

図 9



[図10]

図 10



[図11]

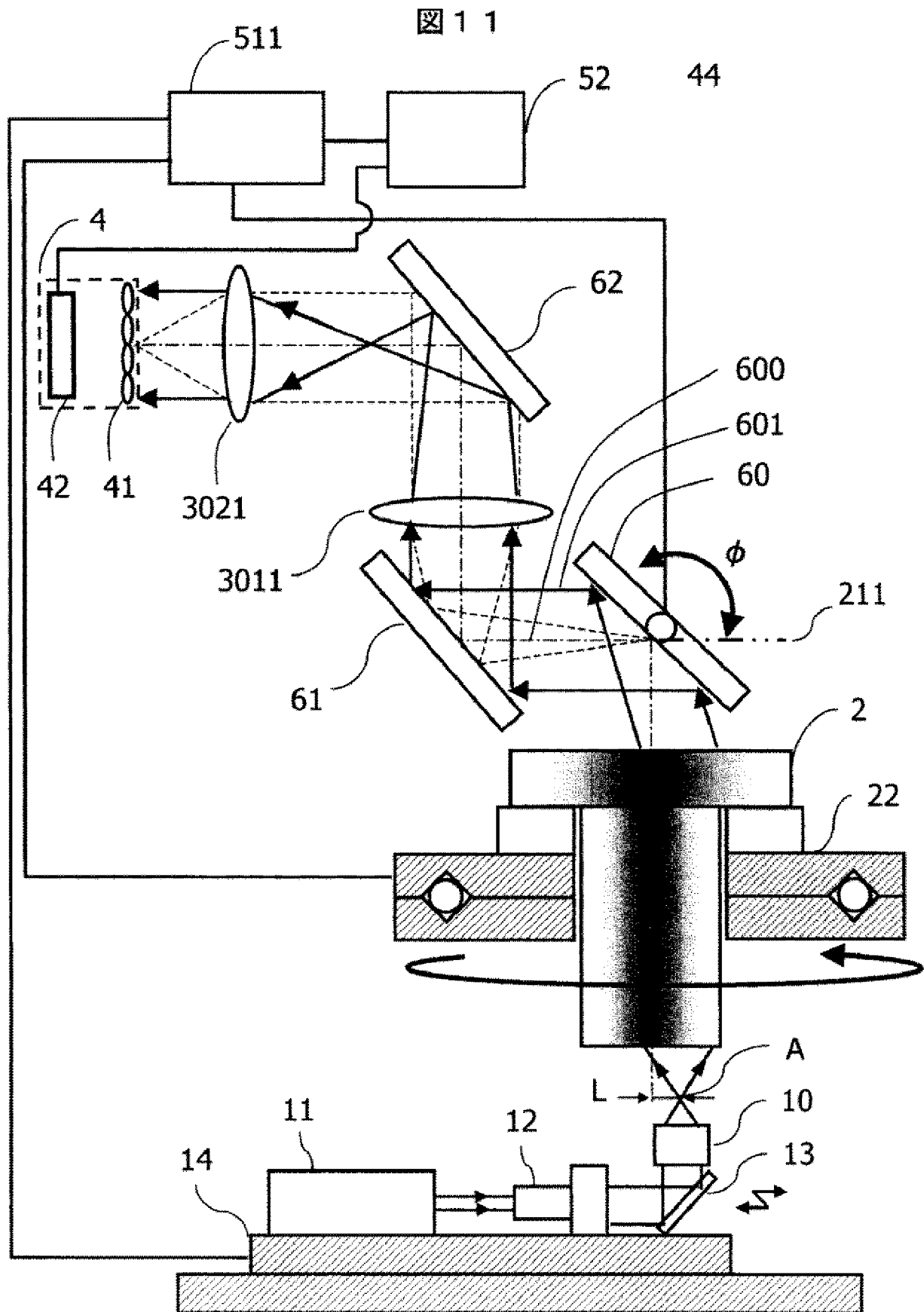
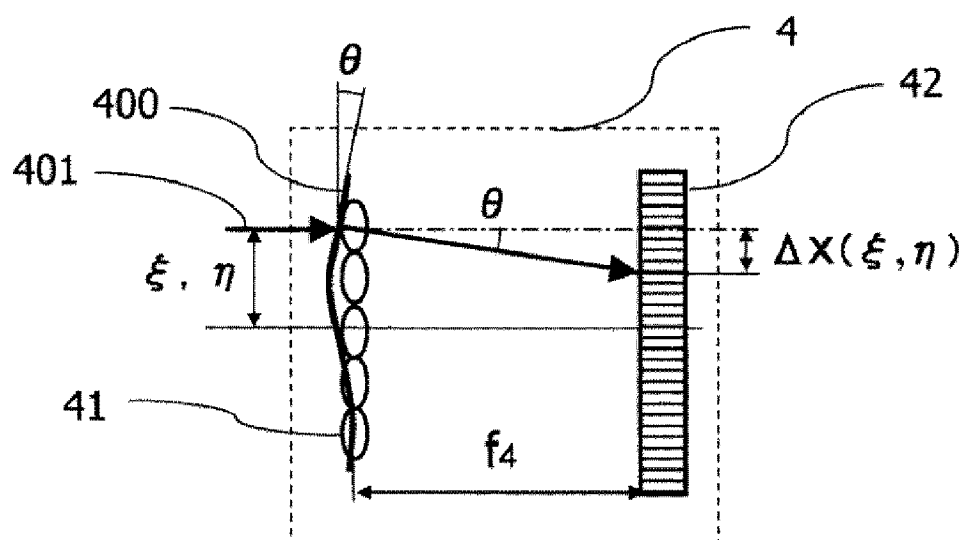


图 12



图 13



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/000345

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01M11/02 (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)

G01M11/00-11/08, G01J9/00, H01L21/027, 21/30, 21/46

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

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2010

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2010 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2010

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

JSTPlus (JDreamII), JST7580 (JDreamII), WPI

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2007-69283 A (Nikon Corp.), 22 March 2007 (22.03.2007), paragraphs [0014] to [0022]; fig. 3 (Family: none)	1-10
A	JP 2003-214984 A (Nikon Corp.), 30 July 2003 (30.07.2003), claims; fig. 1, 2 (Family: none)	1-10
A	JP 2001-56254 A (Mitsubishi Electric Corp.), 27 February 2001 (27.02.2001), paragraphs [0061] to [0066]; fig. 5 (Family: none)	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 April, 2010 (19.04.10)

Date of mailing of the international search report
27 April, 2010 (27.04.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/000345

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 4-504762 A (Leica Heerbrugg AG.), 20 August 1992 (20.08.1992), entire text; all drawings & US 5289254 A & EP 466889 A & WO 1991/012510 A1 & DE 4003699 A	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01M11/02 (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 (I P C))

Int.Cl. G01M11/00-11/08
G01J9/00
H01L21/027, 21/30, 21/46

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 年

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

JSTPlus (JDreamII), JST7580 (JDreamII), WPI

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 2007-69283 A (株式会社ニコン) 2007.03.22, 【0014】-【0022】、図3 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2003-214984 A (株式会社ニコン) 2003.07.30, 【特許請求の範囲】、図1、図2 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2001-56254 A (三菱電機株式会社) 2001.02.27, 【0061】-【0066】、図5 (ファミリーなし)	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
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と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

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 9 . 0 4 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

2 7 . 0 4 . 2 0 1 0

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
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)

西村 直史

2W

9 2 3 4

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 2

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
A	JP 4-504762 A (ライカ ヘールブルツグ アクチエンゲゼルシャフト) 1992. 08. 20, 全文、全図 & US 5289254 A & EP 466889 A & WO 1991/012510 A1 & DE 4003699 A	1-10