

(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26日(26.12.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/244303 A1

- (51) 国際特許分類:
G01J 9/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/023674
- (22) 国際出願日: 2018年6月21日(21.06.2018)
- (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:三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 三輪 佳史 (MIWA, Yoshichika); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 遠藤 貴雄 (ENDO, Takao); 〒1008310 東京都千代田区丸

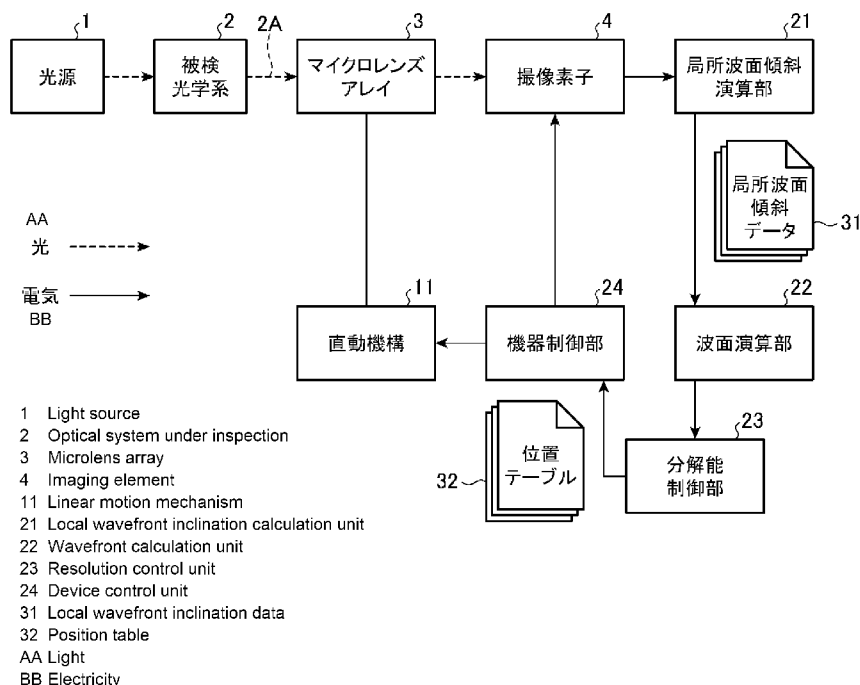
の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 藤江 彰裕(FUJIE, Akihiro); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 安藤 俊行(ANDO, Toshiyuki); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人:田澤 英昭, 外(TAZAWA, Hideaki et al.); 〒1000014 東京都千代田区永田町二丁目12番4号 赤坂山王センタービル5階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, 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,

(54) Title: WAVEFRONT SENSOR, WAVEFRONT MEASUREMENT DEVICE, AND WAVEFRONT MEASUREMENT METHOD

(54) 発明の名称: 波面センサ、波面計測装置および波面計測方法



(57) Abstract: A microlens array (3), in which the arrangement direction of a plurality of microlenses is inclined in relation to a scanning direction (11A), is scanned by being moved in a direction crossing a light beam (2A) directed toward an imaging element (4).

(57) 要約: 走査方向(11A)に対して複数のマイクロレンズの配列方向が傾斜しているマイクロレンズアレイ(3)を、撮像素子(4)に向かう光束(2A)を横切る方向に移動させて走査する。

WO 2019/244303 A1

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：

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：波面センサ、波面計測装置および波面計測方法

技術分野

[0001] 本発明は、波面を検出する波面センサに関する。

背景技術

[0002] シャックハルトマン方式の波面センサは、被検光学系を透過した光線または被検光学系で反射された光線を、マイクロレンズアレイによって集光および分割するセンサであり、2次元検出素子における集光スポット画像に基づいて、被検光学系の透過波面収差または被検光学系の反射波面収差を測定する。

[0003] ただし、上記波面センサでは、2次元検出素子の画素数を越えた情報を取得することはできないため、波面の平面分解能と傾き分解能とがトレードオフの関係にある。

例えば、マイクロレンズアレイのピッチを細かくして波面の平面分解能を上げるほど、1つのマイクロレンズあたりの画素数が減るため、波面の傾き分解能が低下する。

[0004] 例えば、特許文献1には、マイクロレンズアレイと2次元検出素子との間に設けられた液晶によって2次元検出素子への光線の照射位置をサブピクセル単位でシフトさせることで、高精度化を図った光学センサが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2010-230834号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 特許文献1に記載されるセンサは、液晶の誤差分をリアルタイムに校正できず、波面の平面分解能が改善されないという課題があった。

[0007] 本発明は上記課題を解決するものであり、波面の平面分解能を改善できる波面センサを得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明に係る波面センサは、レンズアレイ、撮像素子および直動機構を備える。レンズアレイは、被検光学系を透過または反射した光束が入射され、複数のレンズを配列して構成されている。撮像素子は、複数のレンズを通過した光束が集光された複数の集光スポットを撮像する。直動機構は、撮像素子に向かう光束を横切る方向にレンズアレイを移動させて走査する。この構成において、複数のレンズの配列方向は、レンズアレイの移動方向に対して傾いていることを特徴とする。

発明の効果

[0009] 本発明によれば、レンズアレイの移動方向に対して複数のレンズの配列方向が傾斜しているレンズアレイを、撮像素子に向かう光束を横切る方向に移動させて走査することで、波面の平面分解能を改善できる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]この発明の実施の形態1に係る波面計測装置の構成を示すブロック図である。

[図2]実施の形態1に係る波面計測方法を示すフローチャートである。

[図3]実施の形態1に係る波面計測方法の概要を示す説明図である。

[図4]マイクロレンズが開口食を受けている場合を示す説明図である。

[図5]実施の形態1に係る波面計測装置の変形例の概要を示す説明図である。

[図6]実施の形態1に係る波面計測装置の変形例におけるマイクロレンズアレイの走査方向とマイクロレンズの配列方向とがなす角度の関係を示す説明図である。

[図7]この発明の実施の形態2に係る波面計測装置の構成を示すブロック図である。

[図8]実施の形態2に係る波面センサにおけるマイクロレンズアレイの走査機構を示す図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、本発明をより詳細に説明するため、本発明を実施するための形態について、添付の図面に従って説明する。

実施の形態 1.

図 1 は、この発明の実施の形態 1 に係る波面計測装置の構成を示すブロック図である。図 1 に示す波面計測装置は、実施の形態 1 に係る波面センサによって検出された光束 2 A の集光スポット像に基づいて、被検光学系 2 の波面を計測する。光束 2 A は、光源 1 から出射されて被検光学系 2 を透過または反射した光束である。図 1 において、実施の形態 1 に係る波面センサは、マイクロレンズアレイ 3、撮像素子 4 および直動機構 1 1 を備えて構成される。実施の形態 1 に係る波面計測装置は、波面センサの他に、局所波面傾斜演算部 2 1、波面演算部 2 2、分解能制御部 2 3 および機器制御部 2 4 を備える。

[0012] マイクロレンズアレイ 3 は、被検光学系 2 を透過または反射した光束 2 A を分割して撮像素子 4 に集光させるレンズアレイである。撮像素子 4 は、光束 2 A の集光スポットを撮像して撮像データを局所波面傾斜演算部 2 1 に出力する。直動機構 1 1 は、マイクロレンズアレイ 3 を、撮像素子 4 に向かう光束 2 A を横切る方向に移動させる。例えば、撮像素子 4 の撮像面に対して垂直な方向が光束 2 A の光軸方向である場合に、直動機構 1 1 は、分解能制御部 2 3 から入力した位置テーブル 3 2 に基づいて、マイクロレンズアレイ 3 のレンズ面が光束 2 A の光軸に直交する方向に、マイクロレンズアレイ 3 を移動させて走査する。なお、マイクロレンズアレイ 3 は、移動方向（走査方向）に対して複数のマイクロレンズの配列方向が傾いている。

[0013] 局所波面傾斜演算部 2 1 は、撮像素子 4 によって撮像された複数の集光スポットの撮像データに基づいて、マイクロレンズアレイ 3 の移動方向の位置ごとに被検光学系 2 の局所波面の傾斜を演算する第 1 の演算部である。局所波面傾斜演算部 2 1 によって演算された複数の局所波面傾斜データ 3 1 は、波面演算部 2 2 に出力される。

[0014] 波面演算部 22 は、マイクロレンズアレイ 3 の移動方向の位置ごとに得られた局所波面傾斜データ 31 に基づいて、被検光学系 2 の波面を演算する第 2 の演算部である。分解能制御部 23 は、波面演算部 22 によって演算された波面データに基づいて、位置テーブル 32 を作成する。位置テーブル 32 は、マイクロレンズアレイ 3 の移動方向の複数の位置が設定されたデータであり、機器制御部 24 へ出力される。機器制御部 24 は、直動機構 11 を制御して、位置テーブル 32 に設定された位置ごとにマイクロレンズアレイ 3 を移動させる。機器制御部 24 は、撮像素子 4 を制御して光束 2A の集光スポットを撮像させる。

[0015] 次に動作について説明する。

図 2 は、実施の形態 1 に係る波面計測方法を示すフローチャートである。

図 2 の一連の処理が実行される前段階で、図 1 に示した被検光学系 2 には光源 1 からの光が入射され、被検光学系 2 を透過または反射した光束 2A は、マイクロレンズアレイ 3 に入射されている。直動機構 11 は、走査方向に対して複数のマイクロレンズの配列方向が傾いた状態のマイクロレンズアレイ 3 を、撮像素子 4 に向かう光束 2A を横切る方向に走査する（ステップ S T 1）。

[0016] 局所波面傾斜演算部 21 は、撮像素子 4 によって撮像された複数の集光スポットの撮像データに基づいて、マイクロレンズアレイ 3 の走査方向の位置ごとに被検光学系 2 の局所波面の傾斜を演算する（ステップ S T 2）。マイクロレンズアレイ 3 の走査方向の位置ごとの複数の局所波面傾斜データ 31 は、波面演算部 22 へ出力される。

[0017] 波面演算部 22 は、局所波面傾斜演算部 21 から、マイクロレンズアレイ 3 の走査方向の位置ごとの複数の局所波面傾斜データ 31 を入力し、これらの局所波面傾斜データ 31 を用いて波面を演算する（ステップ S T 3）。

[0018] 図 3 は、実施の形態 1 に係る波面計測方法の概要を示す説明図である。図 3 の左側図において、光束 2A は紙面の表側から裏側に向けて伝播する。マイクロレンズアレイ 3 は、図 3 の左側図に示すように、複数のマイクロレン

ズが2次元正方格子状に配列されて構成されている。マイクロレンズアレイ3は、図1に示した直動機構11によって、図3の矢印で示す走査方向11Aに移動される。走査方向11Aは、紙面の表側から裏側に向けて伝播する光束2Aを横切る方向である。

[0019] マイクロレンズアレイ3における複数のマイクロレンズの配列方向は、走査方向11Aに対して角度 θ で傾いている。このように、マイクロレンズアレイ3は、走査方向11Aに対して傾いた状態で、直動機構11によって走査方向11Aに移動される。

例えば、傾き角度 θ が 45° である場合、直動機構11によってマイクロレンズアレイ3が一定の移動量ごとに移動され、この移動量は、マイクロレンズアレイ3におけるマイクロレンズのピッチサイズ d の $1/\sqrt{2}$ 倍である。なお、図3に示す例では、傾き角度 θ が $\tan^{-1}3$ であり、直動機構11によってマイクロレンズアレイ3が一定の移動量ごとに移動され、この移動量は、マイクロレンズアレイ3におけるマイクロレンズのピッチサイズ d の $1/\sqrt{5}$ 倍である。

[0020] 図3の右側図に示す集光スポット配列41Aは、マイクロレンズアレイ3が第1の位置に移動したときに、撮像素子4によって撮像された集光スポットの配列である。集光スポット配列41Bは、マイクロレンズアレイ3が第1の位置から上記移動量離れた第2の位置に移動したときに、撮像素子4によって撮像された集光スポットの配列である。集光スポット配列41Cは、マイクロレンズアレイ3が第1の位置から上記移動量離れた第3の位置に移動したときに、撮像素子4によって撮像された集光スポットの配列である。集光スポット配列41Dは、マイクロレンズアレイ3が第1の位置から上記移動量離れた第4の位置に移動したときに、撮像素子4によって撮像された集光スポットの配列である。集光スポット配列41Eは、マイクロレンズアレイ3が第1の位置から上記移動量離れた第5の位置に移動したときに、撮像素子4によって撮像された集光スポットの配列である。

[0021] 局所波面傾斜演算部21は、集光スポット配列41Aの撮像データに基づ

いて局所波面傾斜データ 3 1 を算出し、集光スポット配列 4 1 B の撮像データに基づいて局所波面傾斜データ 3 1 を算出し、集光スポット配列 4 1 C の撮像データに基づいて局所波面傾斜データ 3 1 を算出し、集光スポット配列 4 1 D の撮像データに基づいて局所波面傾斜データ 3 1 を算出し、集光スポット配列 4 1 E の撮像データに基づいて局所波面傾斜データ 3 1 を算出する。波面演算部 2 2 は、第 1 の位置から第 5 の位置に対応する五組の局所波面傾斜データ 3 1 に基づいて、被検光学系 2 の波面を演算する。これは、5 倍の密度で集光スポット像を得て波面を演算することに相当し、波面の平面分解能を改善することができる。

[0022] 走査方向 1 1 A に対して複数のマイクロレンズの配列方向がなす角度 θ を $\tan \theta = N$ (正の自然数、 $N = 1, 2, 3, \dots$) とする。これにより、位置テーブル 3 2 には、 $0, d / (N^2 + 1)^{1/2}, \dots, N^2 d / (N^2 + 1)^{1/2}$ の各々で規定される位置が設定されている。位置テーブル 3 2 に設定された位置ごとにマイクロレンズアレイ 3 を走査することで、マイクロレンズアレイ 3 を走査しないときの波面センサの平面分解能に対して $N^2 + 1$ 回の測定で $N^2 + 1$ 倍の密度であり、かつ等間隔に局所波面の傾斜を計測でき、波面の平面分解能が改善される。換言すると、より高次の波面収差成分まで演算可能である。

[0023] また、光束 2 A が外れるまでマイクロレンズアレイ 3 を走査することで、撮像素子 4 を用いて光束 2 A の光強度分布を直接計測することができる。これにより、被検光学系 2 の波面の位置合わせを精度よく行えるので、被検光学系 2 の微細欠陥または透過率の検査に有用である。

[0024] さらに、光束 2 A が外れるまでマイクロレンズアレイ 3 を走査して撮像素子 4 を用いて光束 2 A の光強度分布を直接計測することで、複数のマイクロレンズにおける照度分布が一様でないことを確認できる。図 4 は、マイクロレンズが開口食を受けている場合を示す説明図である。図 4 に示すように、被検光学系 2 の瞳 2 B が円形である場合、マイクロレンズアレイ 3 を光軸から完全に外すと、被検光学系 2 の瞳 2 B の内側にだけ光が照射される。図 4

に示す例では、マイクロレンズアレイ 3 が有する 16 個のマイクロレンズのうち、被検光学系 2 の瞳 2 B の内側にある 12 個のマイクロレンズは均一に照明される。

[0025] 図 4 の右側図に示すように、マイクロレンズによる結像は、均一に照明された 12 個のマイクロレンズでほぼ点の集光スポット 4 2 A が得られる。一方、被検光学系 2 の瞳 2 B からレンズ領域が外れている 4 つのマイクロレンズには照度に段差があり、段差と垂直な方向に延びた集光スポット 4 2 B が形成される。波面の局所傾斜は、マイクロレンズアレイ 3 の各々のマイクロレンズによる像の重心演算を用いて計算されるので、像が線状に延びた集光スポット 4 2 B は誤差要因となる。そこで、集光スポット 4 2 B を波面演算から除外する。マイクロレンズアレイ 3 を移動した位置では均一に照明されるマイクロレンズが異なる。被検光学系 2 の瞳 2 B の内側では均一に照明されて、ほぼ点の集光スポット 4 2 C が得られるので波面演算に含め、被検光学系 2 の瞳 2 B の一部外側では均一に照明されない集光スポット 4 2 D となるので波面演算から除外する。このように、マイクロレンズが均一に照明される位置までマイクロレンズアレイ 3 を動かして波面計測することで、波面計測精度が高まる。

[0026] マイクロレンズアレイ 3 の走査において、走査量 $d(N^2 + 1)^{1/2}$ で $N + 2$ 番目以降の測定点を追加してもよい。これにより、互いに異なるマイクロレンズを通過した光束を用いて同じ局所波面の傾斜を計測でき、マイクロレンズアレイにおけるマイクロレンズ間の個体差を検出し、これを校正することが可能である。例えば、波面センサによって計測された被検光学系 2 の波面の変化の要因には、被検光学系 2 の波面の経時変化に加えて、波面センサの経時変化も考えられる。そこで、前述したようにマイクロレンズの個体差を検出して校正することで、波面の変化の要因から波面センサの経時変化を切り分けることができる。

[0027] 機器制御部 2 4 は、直動機構 1 1 を制御して、位置テーブル 3 2 に設定された位置ごとにマイクロレンズアレイ 3 を移動させ、撮像素子 4 を制御して

、マイクロレンズアレイ 3 の移動位置（走査位置）ごとに光束 2 A の集光スポットを撮像させる。

また、機器制御部 2 4 は、直動機構 1 1 を制御してマイクロレンズアレイ 3 を連続的に走査しながら撮像素子 4 を制御して集光スポットを繰り返し撮像してもよい。このとき、不図示の位置センサが、直動機構 1 1 により連続して走査されたマイクロレンズアレイ 3 の位置を検出し、検出した位置と撮像素子 4 によって逐次撮像された撮像データとを対応付ける。局所波面傾斜演算部 2 1 が、この対応付けデータを用いて、位置テーブル 3 2 に設定されていなかった位置に対応する局所波面傾斜データ 3 1 を演算して補間する。波面演算部 2 2 が、このように高密度で計測された局所波面の傾斜に基づいて波面を計測することで、波面計測が高速化される。

[0028] なお、前述した位置センサとして、光源 1 とは異なる第 2 の光源（不図示）を利用したものであってもよい。例えば、第 2 の光源から出射された光束は、撮像素子 4 によって、光源 1 からの光束とは別に撮像される。第 2 の光源から出射された光束で直動機構 1 1 の動作をモニタすることで、撮像素子 4 が、直動機構 1 1 によるマイクロレンズアレイ 3 の走査量を検出することができる。

[0029] 次に、実施の形態 1 に係る波面計測装置の変形例について説明する。

図 5 は、実施の形態 1 に係る波面計測装置の変形例の概要を示す説明図である。実施の形態 1 に係る波面計測装置の変形例が備える波面センサは、図 3 に示したマイクロレンズアレイ 3 の代わりに、図 5 の左側図に示すマイクロレンズアレイ 3 A を備えている。

上記波面センサは、マイクロレンズアレイ 3 A の他、撮像素子 4 および直動機構 1 1 を備えている。また、実施の形態 1 に係る波面計測装置は、上記波面センサの他、局所波面傾斜演算部 2 1、波面演算部 2 2、分解能制御部 2 3 および機器制御部 2 4 を備える。

なお、図 5 の左側図において、光束 2 A は、紙面の表側から裏側に向けて伝播する。

[0030] マイクロレンズアレイ 3 A は、図 3 に示したマイクロレンズアレイ 3 と同様に、被検光学系 2 を透過または反射した光束 2 A を分割して撮像素子 4 に集光させるレンズアレイである。ただし、マイクロレンズアレイ 3 と異なり、マイクロレンズアレイ 3 A は、各々が正六角形の外形を有する複数のマイクロレンズが 2 次元六角格子状に配列されて構成されている。直動機構 1 1 は、マイクロレンズアレイ 3 A を、撮像素子 4 に向かう光束 2 A を横切る方向に移動させる。例えば、撮像素子 4 の撮像面に対して垂直な方向が光束 2 A の光軸方向である場合、直動機構 1 1 は、分解能制御部 2 3 から入力した位置テーブル 3 2 に基づいて、マイクロレンズアレイ 3 A のレンズ面が光束 2 A の光軸に直交する方向に、マイクロレンズアレイ 3 A を移動させて走査する。なお、マイクロレンズアレイ 3 A は、移動方向（走査方向）に対して複数のマイクロレンズの配列方向が傾いている。

[0031] 次に動作について説明する。

マイクロレンズアレイ 3 A は、直動機構 1 1 によって、図 5 の左側図の矢印で示す走査方向 1 1 A に移動される。走査方向 1 1 A は、紙面の表側から裏側に向けて伝播する光束 2 A を横切る方向である。

[0032] マイクロレンズアレイ 3 A における複数のマイクロレンズの配列方向は、走査方向 1 1 A に対して角度 θ で傾いている。このように、マイクロレンズアレイ 3 A は、走査方向 1 1 A に対して傾いた状態で、直動機構 1 1 によって走査方向 1 1 A に移動される。

例えば、傾き角度 θ が 30° であり、直動機構 1 1 によってマイクロレンズアレイ 3 A が一定の移動量ごとに移動され、移動量がマイクロレンズアレイ 3 A におけるマイクロレンズのピッチサイズ d の $1/\sqrt{3}$ 倍である。図 5 の右側図に示す集光スポット配列 4 3 A は、マイクロレンズアレイ 3 A が第 1 の位置に移動したときに、撮像素子 4 によって撮像された集光スポットの配列である。集光スポット配列 4 3 B は、マイクロレンズアレイ 3 A が第 1 の位置から上記移動量離れた第 2 の位置に移動したときに、撮像素子 4 によって撮像された集光スポットの配列である。集光スポット配列 4 3 C は、マ

マイクロレンズアレイ 3 A が第 1 の位置から上記移動量離れた第 3 の位置に移動したときに、撮像素子 4 によって撮像された集光スポットの配列である。

[0033] 局所波面傾斜演算部 2 1 は、集光スポット配列 4 3 A の撮像データに基づいて局所波面傾斜データ 3 1 を算出し、集光スポット配列 4 3 B の撮像データに基づいて局所波面傾斜データ 3 1 を算出し、集光スポット配列 4 3 C の撮像データに基づいて局所波面傾斜データ 3 1 を算出する。波面演算部 2 2 は、第 1 の位置、第 2 の位置および第 3 の位置に対応する三組の局所波面傾斜データ 3 1 に基づいて被検光学系 2 の波面を演算する。これは、3 倍の密度で集光スポット像を得て波面を演算することに相当し、波面の平面分解能を改善することができる。

[0034] 走査方向 1 1 A に対して複数のマイクロレンズの配列方向がなす角度 θ を $\tan \theta = (N / (N + 2)) \times \sqrt{3}$ (N は正の自然数、 $N = 1, 2, 3, \dots$) とする。

図 6 は、実施の形態 1 に係る波面計測装置の変形例におけるマイクロレンズアレイ 3 A の走査方向とマイクロレンズの配列方向とがなす角度 θ の関係を示す説明図である。

実施の形態 1 に係る波面計測装置の変形例における位置テーブル 3 2 には、 $0, d / (N^2 + N + 1)^{1/2}, \dots, (N^2 + N) d / (N^2 + N + 1)^{1/2}$ の各々で規定される位置が設定されている。位置テーブル 3 2 に設定された位置ごとにマイクロレンズアレイ 3 A を走査することにより、マイクロレンズアレイ 3 A を走査しないときの波面センサの平面分解能に対して $N^2 + N + 1$ 倍の密度でかつ等間隔に局所波面の傾斜を計測でき、波面の平面分解能が改善される。換言すると、より高次の波面収差成分まで演算可能である。

[0035] 前述したように、実施の形態 1 に係る波面センサにおいて、走査方向 1 1 A に対して複数のマイクロレンズの配列方向が傾斜しているマイクロレンズアレイ 3 または 3 A を、撮像素子 4 に向かう光束 2 A を横切る方向に移動させて走査する。これにより、マイクロレンズアレイ 3 または 3 A の走査位置ごとの撮像データが得られるので、波面の傾き分解能とダイナミックレンジ

を下げることなく、波面の平面分解能を改善できる。

[0036] 実施の形態 1 に係る波面センサにおいて、マイクロレンズアレイ 3 は、マイクロレンズが 2 次元正方格子状に配列されて構成され、マイクロレンズアレイ 3 の走査方向に対して複数のマイクロレンズの配列方向がなす傾き角度 θ は、 $\tan \theta$ が 1 以上の正の自然数 N となる関係を有する。直動機構 11 は、マイクロレンズのピッチサイズが d である場合に、 $0, d / (N^2 + 1)^{1/2}, \dots, N^2 d / (N^2 + 1)^{1/2}$ のそれぞれで規定される位置にマイクロレンズアレイ 3 を走査する。これにより、マイクロレンズアレイ 3 を走査しないときの波面センサの平面分解能に対して $N^2 + 1$ 倍の密度でかつ等間隔な撮像データが得られる。

[0037] 実施の形態 1 に係る波面センサにおいて、マイクロレンズアレイ 3 A は、マイクロレンズが 2 次元六角格子状に配列されて構成され、マイクロレンズアレイ 3 A の移動方向に対して複数のマイクロレンズの配列方向がなす傾き角度 θ は、1 以上の正の自然数 N について $\tan \theta = (N / (N + 2)) \times \sqrt{3}$ となる関係を有する。直動機構 11 は、マイクロレンズアレイ 3 A のマイクロレンズのピッチサイズが d である場合、マイクロレンズアレイ 3 A を、 $0, d / (N^2 + N + 1)^{1/2}, \dots, (N^2 + N) d / (N^2 + N + 1)^{1/2}$ のそれぞれで規定される位置に走査する。これにより、マイクロレンズアレイ 3 A を走査しないときの波面センサの平面分解能に対して $N^2 + N + 1$ 倍の密度でかつ等間隔な撮像データが得られる。

[0038] 実施の形態 1 に係る波面計測装置は、前述した波面センサに加え、局所波面傾斜演算部 21 および波面演算部 22 を備える。これにより、マイクロレンズアレイ 3 または 3 A を走査しないときの波面センサよりも、波面の平面分解能が改善された波面計測装置を実現することができる。

[0039] 実施の形態 1 に係る波面計測方法では、図 2 に示した処理が実行されるので、マイクロレンズアレイ 3 または 3 A を走査しないときの波面センサよりも、波面の平面分解能が改善される。

[0040] 実施の形態 2.

図7は、この発明の実施の形態2に係る波面計測装置の構成を示すブロック図である。図7において図1と同一の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。図7に示す波面計測装置は、実施の形態2に係る波面センサによって検出された光束2Aの集光スポット像に基づいて、被検光学系2の波面を計測する。実施の形態2に係る波面センサは、マイクロレンズアレイ3、撮像素子4、直動機構11および回転機構12を備えている。実施の形態2に係る波面計測装置は、波面センサの他に、局所波面傾斜演算部21、波面演算部22、分解能制御部23Aおよび機器制御部24Aを備える。

[0041] 回転機構12は、マイクロレンズアレイ3を回転させる構成要素であり、例えば、回転ステージ、モータ、ゴニオステージおよび傾斜ステージのいずれかを用いて実現される。回転機構12によってマイクロレンズアレイ3を回転させることで、直動機構11によるマイクロレンズアレイ3の移動方向に対して複数のマイクロレンズの配列方向がなす傾き角度 θ が変更される。

[0042] 分解能制御部23Aは、波面演算部22によって演算された波面データに基づいて位置角度テーブル33を作成する。位置角度テーブル33は、マイクロレンズアレイ3の角度 θ とこれに対応する移動方向の複数の位置とが設定されたデータである。機器制御部24Aは、直動機構11を制御して、位置角度テーブル33に設定された位置ごとにマイクロレンズアレイ3を移動させ、回転機構12を制御して、位置角度テーブル33に設定された角度 θ にマイクロレンズアレイ3を回転させる。機器制御部24Aは、撮像素子4を制御して光束2Aの集光スポットを撮像させる。

[0043] 次に動作について説明する。

図8は、実施の形態2に係る波面センサにおけるマイクロレンズアレイ3の走査機構を示す図である。図7に示した分解能制御部23Aは、角度 $\theta = \tan^{-1}N$ （正の自然数、 $N = 1, 2, 3, \dots$ ）と、 $0, d / (N^2 + 1)^{1/2}, \dots, N^2 d / (N^2 + 1)^{1/2}$ のそれぞれで規定される位置とが設定された位置角度テーブル33を作成する。

[0044] 機器制御部24Aは、回転機構12を制御して、位置角度テーブル33に

設定された角度 θ にマイクロレンズアレイ3を回転させ、この状態で、直動機構11を制御して、位置角度テーブル33に設定された位置ごとに、マイクロレンズアレイ3を移動させる。このとき、機器制御部24Aは、撮像素子4を制御して、マイクロレンズアレイ3の移動位置ごとに光束2Aの集光スポットを撮像させる。

実施の形態2に係る波面計測装置では、Nを大きくするほど波面の平面分解能を高めることができ、Nを小さくするほど測定頻度を高めることができる。

[0045] 前述したように、実施の形態2に係る波面センサは、マイクロレンズアレイ3の移動方向に対して複数のマイクロレンズの配列方向がなす傾き角度 θ を、マイクロレンズアレイ3を回転させて変更する回転機構12を備える。角度 θ を変更することにより、高速だが低い平面分解能の波面計測と低速だが高い平面分解能の波面計測とを変更することが可能である。なお、回転機構12が、マイクロレンズアレイ3Aを回転させるように構成してもよい。この構成であっても、上記と同様の効果が得られる。

[0046] 実施の形態2に係る波面計測装置は、前述した波面センサに加え、局所波面傾斜演算部21および波面演算部22を備える。これにより、マイクロレンズアレイ3を走査しないときの波面センサよりも、波面の平面分解能が改善された波面計測装置を実現することができる。

[0047] 実施の形態2に係る波面計測方法では、マイクロレンズアレイ3を回転させて角度 θ を変更することによって、高速だが低い平面分解能の波面計測と低速だが高い平面分解能の波面計測とを変更することが可能である。

[0048] なお、本発明は上記実施の形態に限定されるものではなく、本発明の範囲内において、実施の形態のそれぞれの自由な組み合わせまたは実施の形態のそれぞれの任意の構成要素の変形もしくは実施の形態のそれぞれにおいて任意の構成要素の省略が可能である。

産業上の利用可能性

[0049] 本発明に係る波面センサは、波面の平面分解能を改善できるので、様々な

光学系の波面計測に利用可能である。

符号の説明

[0050] 1 光源、2 被検光学系、2 A 光束、2 B 瞳、3, 3 A マイクロレンズアレイ、4 撮像素子、1 1 直動機構、1 1 A 走査方向、1 2 回転機構、2 1 局所波面傾斜演算部、2 2 波面演算部、2 3, 2 3 A 分解能制御部、2 4, 2 4 A 機器制御部、3 1 局所波面傾斜データ、3 2 位置テーブル、3 3 位置角度テーブル、4 1 A, 4 1 B, 4 1 C, 4 1 D, 4 1 E, 4 3 A, 4 3 B, 4 3 C 集光スポット配列、4 2 A, 4 2 B, 4 2 C, 4 2 D 集光スポット。

請求の範囲

- [請求項1] 被検光学系を透過または反射した光束が入射され、複数のレンズを配列して構成されたレンズアレイと、
 複数の前記レンズを通過した前記光束が集光された複数の集光スポットを撮像する撮像素子と、
 前記撮像素子に向かう前記光束を横切る方向に前記レンズアレイを移動させて走査する直動機構とを備え、
 複数の前記レンズの配列方向は、前記レンズアレイの移動方向に対して傾いていること
 を特徴とする波面センサ。
- [請求項2] 前記レンズアレイは、前記レンズが2次元正方格子状に配列されて構成され、
 前記レンズアレイの移動方向に対して複数の前記レンズの配列方向がなす傾き角度 θ は、 $\tan \theta$ が1以上の正の自然数 N となる関係を有し、
 前記直動機構は、前記レンズアレイの前記レンズのピッチサイズが d である場合、前記レンズアレイを、 $0, d / (N^2 + 1)^{1/2}, \dots, N^2 d / (N^2 + 1)^{1/2}$ のそれぞれで規定される位置に走査すること
 を特徴とする請求項1記載の波面センサ。
- [請求項3] 前記レンズアレイは、前記レンズが2次元六角格子状に配列されて構成され、
 前記レンズアレイの移動方向に対して複数の前記レンズの配列方向がなす傾き角度 θ は、1以上の正の自然数 N について $\tan \theta = (N / (N + 2)) \times \sqrt{3}$ となる関係を有し、
 前記直動機構は、前記レンズアレイの前記レンズのピッチサイズが d である場合、前記レンズアレイを、 $0, d / (N^2 + N + 1)^{1/2}, \dots, (N^2 + N) d / (N^2 + N + 1)^{1/2}$ のそれぞれで規定さ

れる位置に走査すること

を特徴とする請求項 1 記載の波面センサ。

[請求項4] 前記レンズアレイの移動方向に対して複数の前記レンズの配列方向がなす傾き角度を、前記レンズアレイを回転させて変更する回転機構を備えたこと

を特徴とする請求項 1 記載の波面センサ。

[請求項5] 請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項記載の波面センサと、前記撮像素子によって撮像された複数の集光スポットに基づいて、前記レンズアレイの移動方向の位置ごとに前記被検光学系の局所波面の傾斜を演算する第 1 の演算部と、

前記第 1 の演算部によって演算された局所波面の傾斜に基づいて、前記被検光学系の波面を演算する第 2 の演算部とを備えたこと

を特徴とする波面計測装置。

[請求項6] 被検光学系を透過または反射した光束が入射され、複数のレンズを配列して構成されたレンズアレイと、複数の前記レンズを通過した前記光束が集光された複数の集光スポットを撮像する撮像素子とを備えた波面センサを用いた波面計測方法であって、

直動機構が、前記レンズアレイの移動方向に対して複数の前記レンズの配列方向が傾いた状態の前記レンズアレイを、前記撮像素子に向かう前記光束を横切る方向に移動させて走査するステップと、

第 1 の演算部が、前記レンズアレイの移動方向の位置ごとに前記撮像素子によって撮像された複数の集光スポットに基づいて、前記被検光学系の局所波面の傾斜を演算するステップと、

第 2 の演算部が、前記第 1 の演算部によって演算された局所波面の傾斜に基づいて、前記被検光学系の波面を演算するステップとを備えたこと

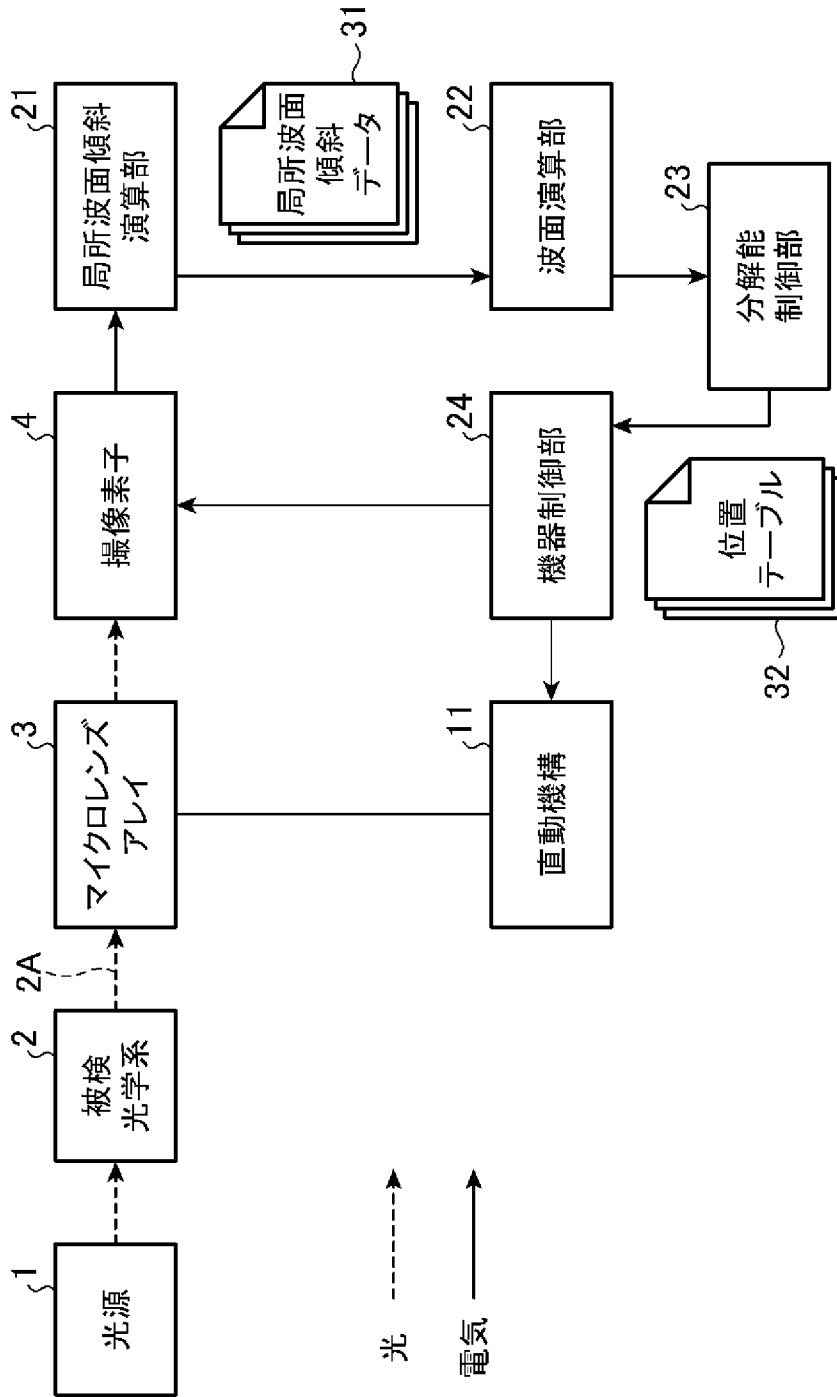
を特徴とする波面計測方法。

[請求項7] 回転機構が、前記レンズアレイの移動方向に対して複数の前記レン

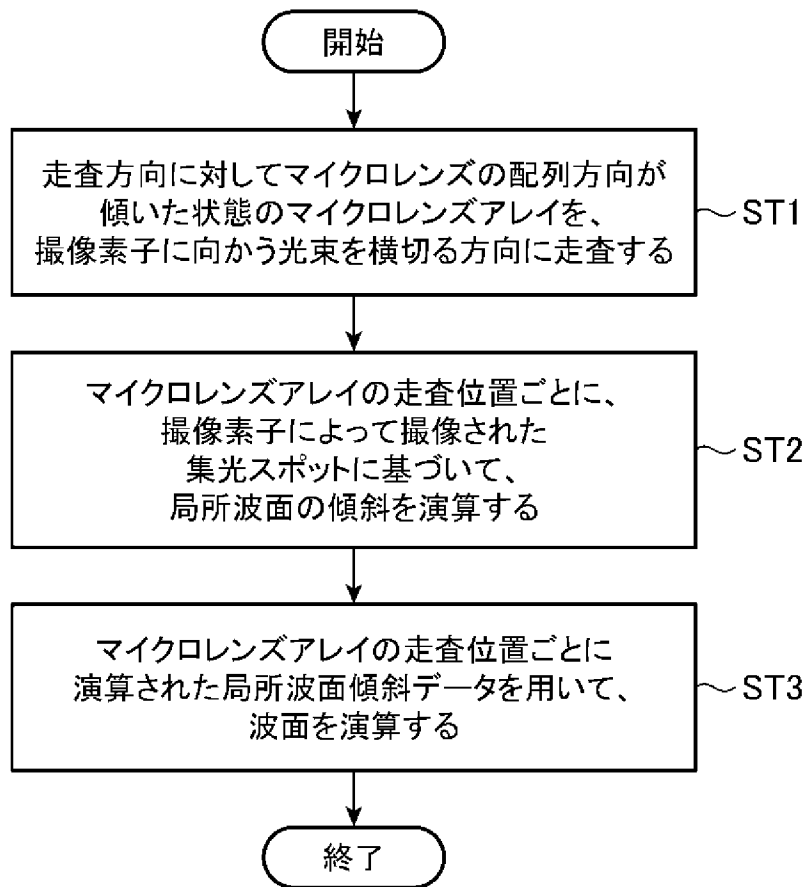
ズの配列方向がなす傾き角度を、前記レンズアレイを回転させて変更するステップを備えたこと

を特徴とする請求項6記載の波面計測方法。

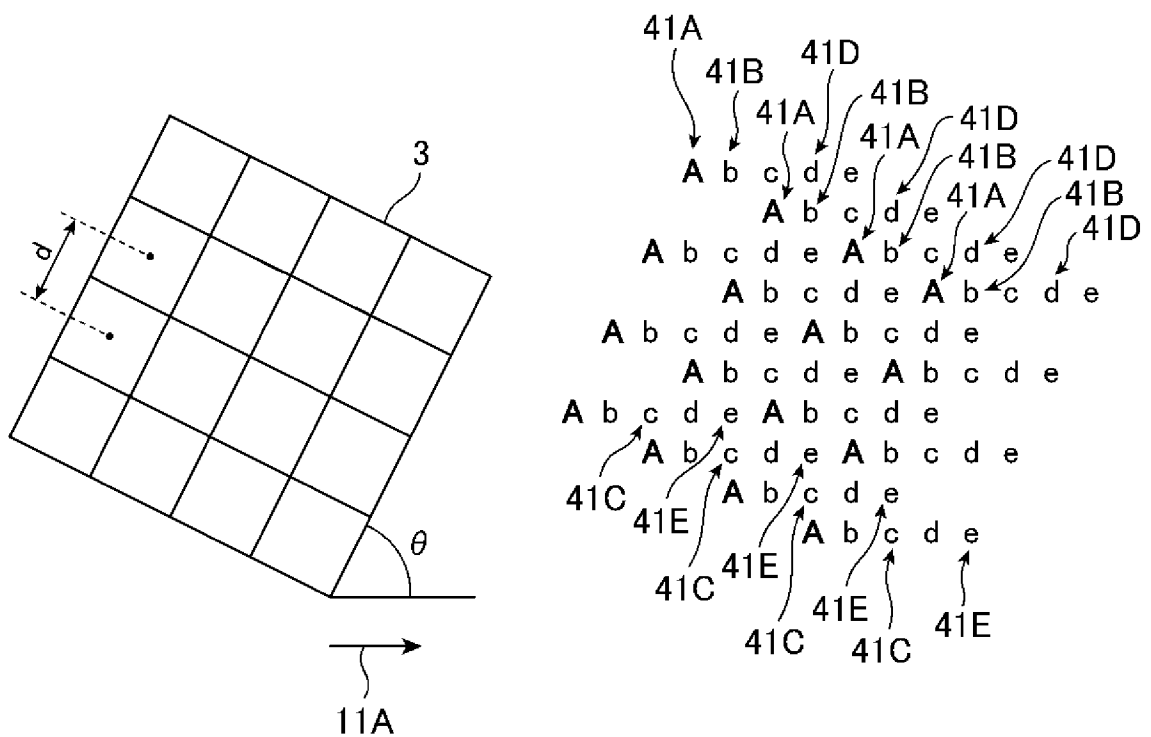
[図1]



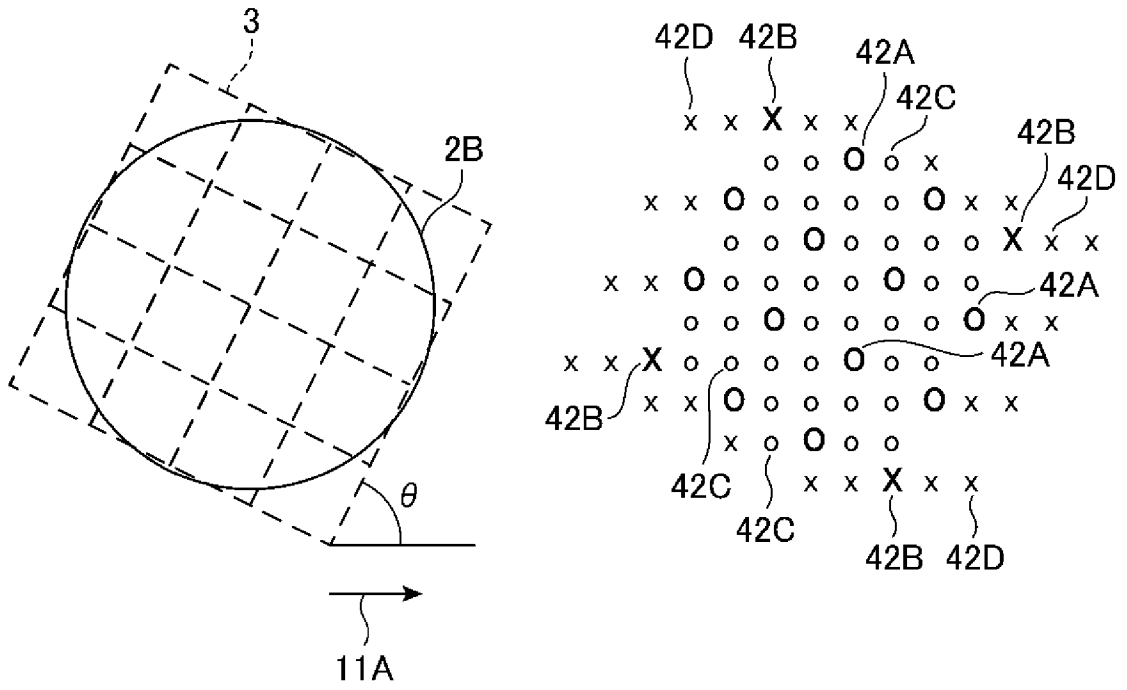
[図2]



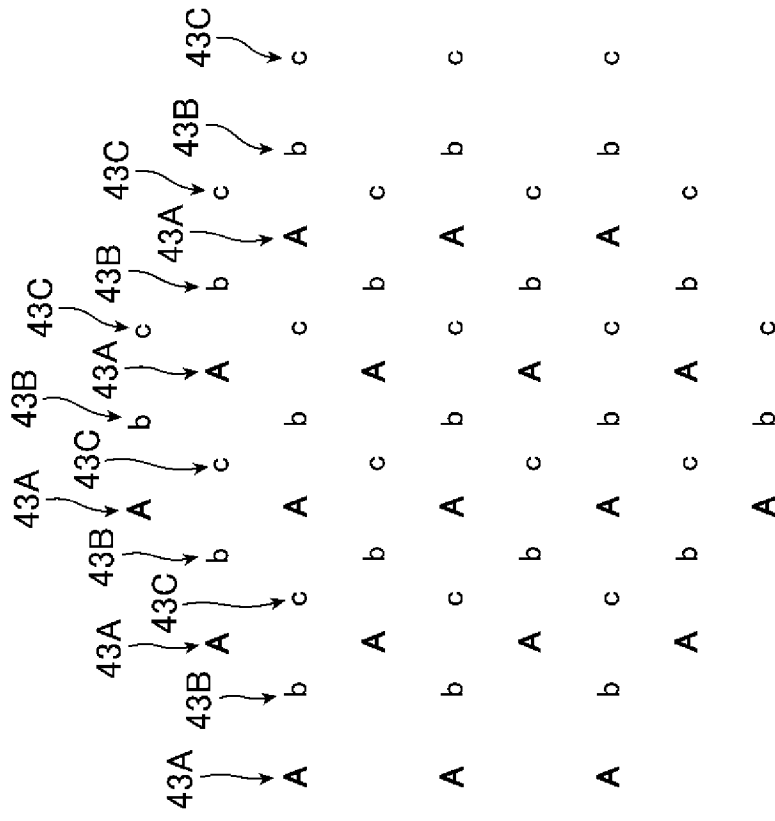
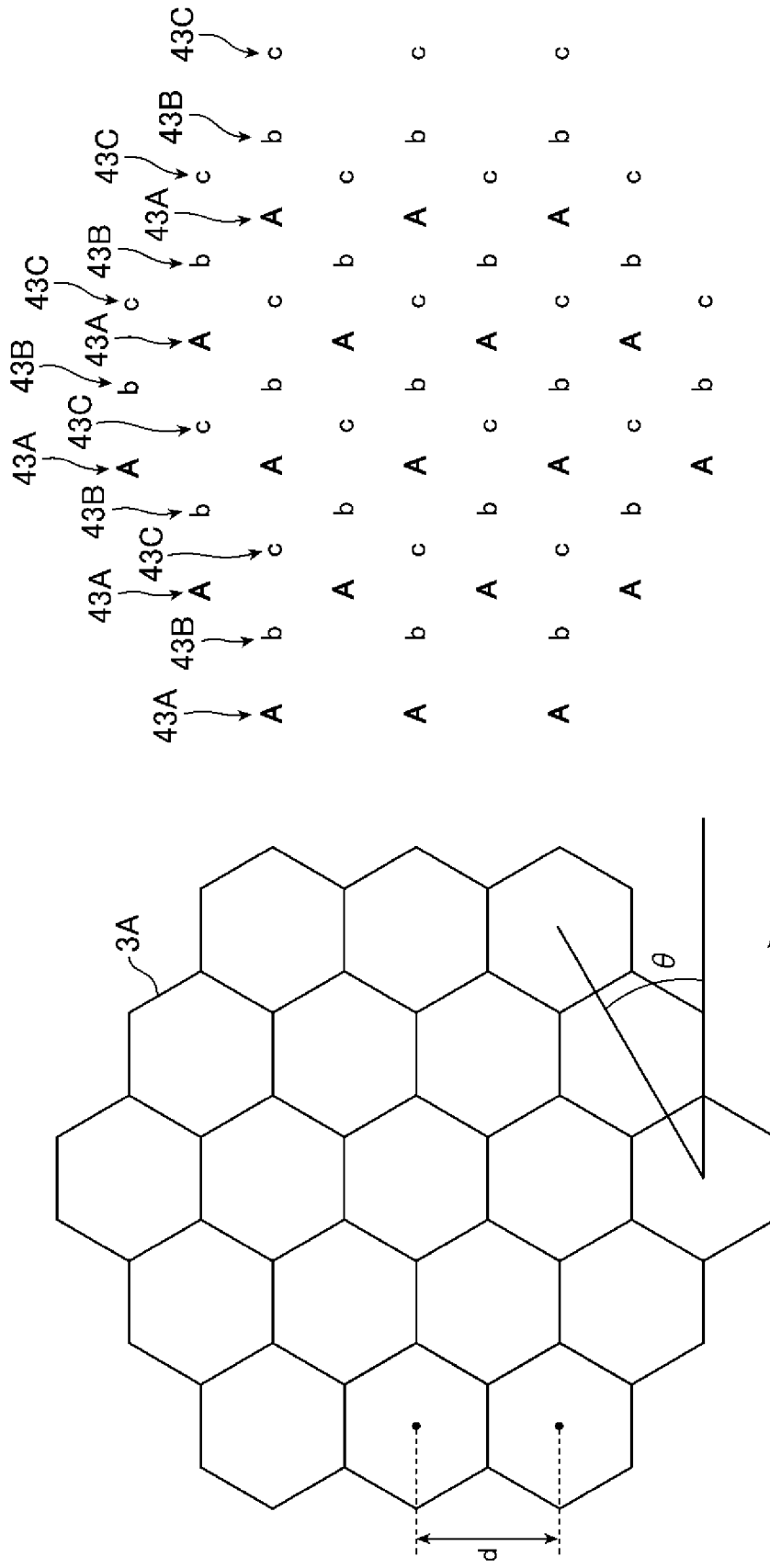
[図3]



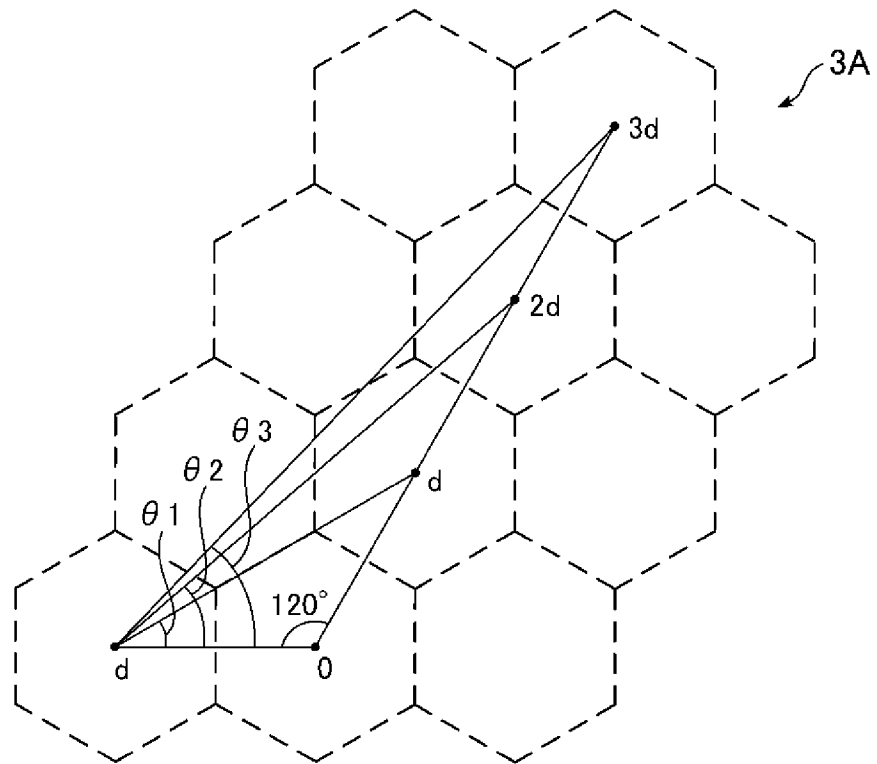
[図4]



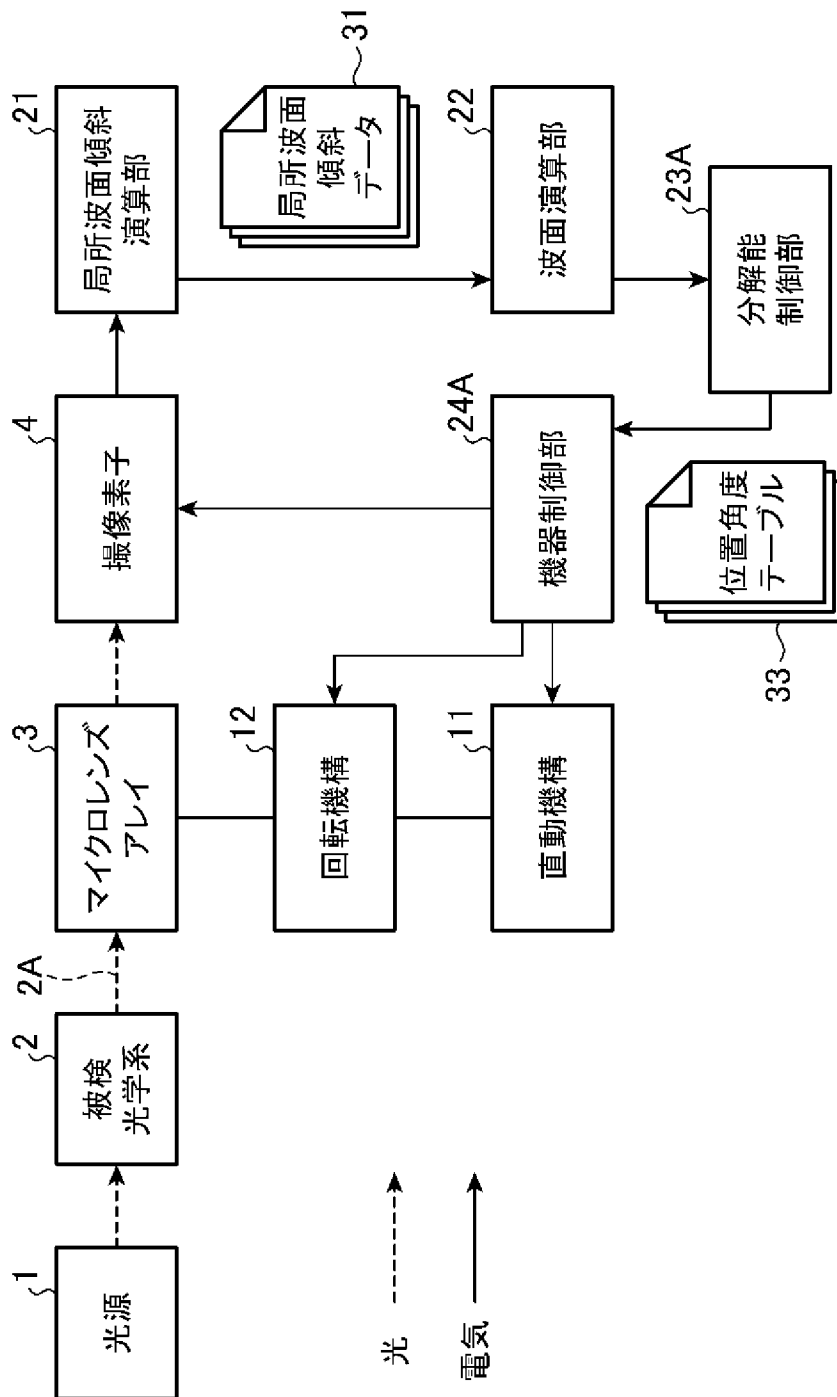
[図5]



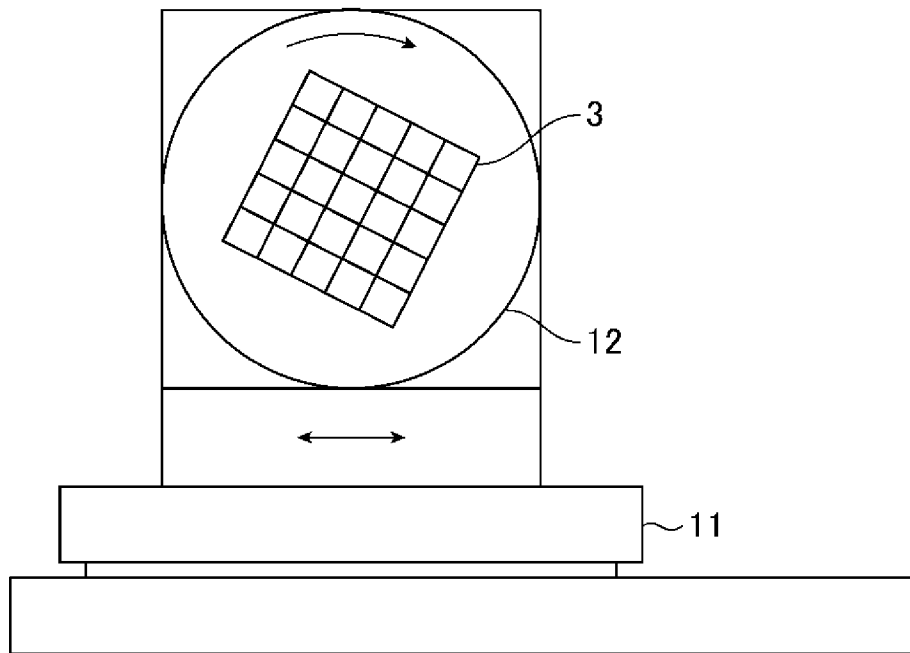
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/023674

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G01J9/00 (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. G01J9/00-9/04, G01M11/00-11/02, G01B11/00-11/30

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.
X	JP 2012-088267 A (NIKON CORP.) 10 May 2012,	1-2, 4-7
Y	paragraphs [0019]-[0027], fig. 1-5 (Family: none)	3
Y	JP 2014-236795 A (HAMAMATSU PHOTONICS KABUSHIKI KAISHA) 18 December 2014, paragraph [0079], fig. 21 & WO 2014/196449 A1 & US 2016/0124221 A1, paragraph [0101], fig. 21	3
A	JP 2009-192412 A (NIKON CORP.) 27 August 2009, entire text, fig. 1-8 (Family: none)	1-7
A	US 2009/0152453 A1 (LI) 18 June 2009, entire text, fig. 1-16 & WO 2007/070006 A1	1-7

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
11.08.2018

Date of mailing of the international search report
04.09.2018

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. G01J 9/00(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. G01J 9/00-9/04, G01M 11/00-11/02, G01B 11/00-11/30			
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	
X	J P 2012-088267 A (株式会社ニコン) 2012.05.10, 段落番号【0019】-【0027】、第1-5図 (ファミリーなし)	1-2, 4-7	
Y		3	
☑ 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 11.08.2018		国際調査報告の発送日 04.09.2018	
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） 平田 佳規	2W 9807
		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 2014-236795 A (浜松ホトニクス株式会社) 2014. 12. 18, 段落番号【0079】、第21図 & WO 2014/196449 A1 & US 2016/0124221 A1 段落番号【0101】、第21図	3
A	JP 2009-192412 A (株式会社ニコン) 2009. 08. 27, 全文、第1-8図 (ファミリーなし)	1-7
A	US 2009/0152453 A1 (LI) 2009. 06. 18, 全文、第1-16図 & WO 2007/070006 A1	1-7