

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7292397号  
(P7292397)

(45)発行日 令和5年6月16日(2023.6.16)

(24)登録日 令和5年6月8日(2023.6.8)

(51)国際特許分類  
G 0 3 F 9/00 (2006.01)F I  
G 0 3 F 9/00

請求項の数 20 (全18頁)

(21)出願番号 特願2021-547456(P2021-547456)  
 (86)(22)出願日 令和2年1月16日(2020.1.16)  
 (65)公表番号 特表2022-521067(P2022-521067)  
 A)  
 (43)公表日 令和4年4月5日(2022.4.5)  
 (86)国際出願番号 PCT/US2020/013861  
 (87)国際公開番号 WO2020/167408  
 (87)国際公開日 令和2年8月20日(2020.8.20)  
 審査請求日 令和3年10月26日(2021.10.26)  
 (31)優先権主張番号 16/277,805  
 (32)優先日 平成31年2月15日(2019.2.15)  
 (33)優先権主張国・地域又は機関  
米国(US)

(73)特許権者 390040660  
アプライド マテリアルズ インコーポレ  
イテッド  
A P P L I E D M A T E R I A L S ,  
I N C O R P O R A T E D  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 5 0  
5 4 , サンタ クララ , パワーズ ア  
ヴェニュー 3 0 5 0  
3 0 5 0 B o w e r s A v e n u e  
S a n t a C l a r a C A 9 5 0 5 4  
U . S . A .  
(74)代理人 110002077  
園田・小林弁理士法人  
(72)発明者 コスクン, テイマー  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 5 1  
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 デジタルリソグラフィツールのためのモデルベース動的位置補正

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

—フォトリソグラフィシステムを開始して、安定化期間に入ることと、  
 —前記安定化期間中に前記フォトリソグラフィシステムが、1つ以上の基板または1つ以上のキャリブレーションプレートをプリントイングしているときに、データおよび基板またはキャリブレーションプレート上の位置読み取り値を収集することであって、収集される前記データが、前記フォトリソグラフィシステムに配置された複数の温度センサを使用して収集される温度データである、データおよび基板またはキャリブレーションプレート上の位置読み取り値を収集することと、

—前記データおよび前記位置読み取り値に基づいてモデルを作成することであって、以下のグループ1: 热的影響なしで前記安定化期間中に前記位置読み取り値があるべき位置、热的影響により前記位置読み取り値が実際にある位置、前記フォトリソグラフィシステムの初期温度、および所定の時間が経過した後の前記初期温度からの測定された温度変化、の各々のパラメータ、または以下のグループ2: 前記位置読み取り値の摂動の近似値、前記フォトリソグラフィシステムの初期温度、および所定の時間が経過した後の前記初期温度からの測定された温度変化、の各々のパラメータを使用して、前記モデルが形成されること、

—前記安定化期間中における後続の安定化期間中に1つ以上の基板をプリントイングするために、前記モデルを使用して、前記後続の安定化期間中に、推定された位置誤差を動的に補正することと、

を含む方法。

【請求項 2】

前記温度データが、前記安定化期間の加熱期間および冷却期間中に収集される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

収集される前記データが、圧力データを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記モデルが、カスケード過渡モデルである、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

フォトリソグラフィシステムを開始して、安定化期間に入ることと、

10

前記安定化期間中に前記フォトリソグラフィシステムが、1つ以上の基板または1つ以上のキャリプレーションプレートをプリントイングしているときに、温度データおよび基板またはキャリプレーションプレート上の位置読み取り値を収集することであって、前記温度データが、前記フォトリソグラフィシステムに配置された複数の温度センサを使用して、加熱期間および冷却期間中に収集される、温度データおよび基板またはキャリプレーションプレート上の位置読み取り値を収集することと、

前記温度データおよび前記位置読み取り値に基づいてモデルを作成することであって、以下のグループ 1：熱的影響なしで前記安定化期間中に前記位置読み取り値があるべき位置、熱的影響により前記位置読み取り値が実際にある位置、前記フォトリソグラフィシステムの初期温度、および所定の時間が経過した後の前記初期温度からの測定された温度変化、の各々のパラメータ、または以下のグループ 2：前記位置読み取り値の摂動の近似値、前記フォトリソグラフィシステムの初期温度、および所定の時間が経過した後の前記初期温度からの測定された温度変化、の各々のパラメータを使用して、前記モデルが形成される、モデルを作成することと、

20

前記モデルを較正することと、

較正された前記モデルを使用して、前記安定化期間中における後続の安定化期間での位置誤差を推定することと、

前記後続の安定化期間中に1つ以上の基板をプリントイングするために、推定された前記位置誤差を、前記後続の安定化期間中に動的に補正することと、

を含む方法。

30

【請求項 6】

圧力データが、さらに収集され、前記モデルが、前記温度データおよび前記圧力データに基づいて作成される、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記モデルが、カスケード過渡モデルである、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 8】

フォトリソグラフィシステムを開始して、安定化期間に入ることと、

前記安定化期間中に前記フォトリソグラフィシステムが、1つ以上の基板または1つ以上のキャリプレーションプレートをプリントイングしているときに、温度データおよび基板またはキャリプレーションプレート上の位置読み取り値を収集することであって、前記温度データが、前記フォトリソグラフィシステムに配置された複数の温度センサを使用して収集される、温度データおよび基板またはキャリプレーションプレート上の位置読み取り値を収集することと、

40

前記温度データおよび前記位置読み取り値に基づいてモデルを作成することであって、以下のグループ 1：熱的影響なしで前記安定化期間中に前記位置読み取り値があるべき位置、熱的影響により前記位置読み取り値が実際にある位置、前記フォトリソグラフィシステムの初期温度、および所定の時間が経過した後の前記初期温度からの測定された温度変化、の各々のパラメータ、または以下のグループ 2：前記位置読み取り値の摂動の近似値、前記フォトリソグラフィシステムの初期温度、および所定の時間が経過した後の前記初期温度からの測定された温度変化、の各々のパラメータを使用して、前記モデルが形成さ

50

れる、モデルを作成することと、

—最適化問題を形成して、前記フォトリソグラフィシステムの熱容量および熱伝導率を決定することと、

—前記モデルおよび前記最適化問題を使用して、前記安定化期間中における後続の安定化期間での位置誤差を推定することと、

—前記後続の安定化期間中に1つ以上の基板をプリントイングするために、推定された前記位置誤差を、前記後続の安定化期間中に動的に補正することと、  
を含む方法。

【請求項 9】

—圧力データが、さらに収集され、前記モデルが、前記温度データおよび前記圧力データに基づいて作成される、請求項8に記載の方法。 10

【請求項 10】

—前記温度データが、前記安定化期間の加熱期間および冷却期間中に収集される、請求項8に記載の方法。

【請求項 11】

—収集される前記データが、湿度データを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項 12】

—前記複数の温度センサが、前記安定化期間中に温度が変動することが知られている前記フォトリソグラフィシステムの部品の近くに配置されている、請求項1に記載の方法。 20

【請求項 13】

—前記データが、圧力データを収集するように構成された1つ以上のセンサ、または湿度データを収集するように構成された1つ以上のセンサを使用して収集される、請求項1に記載の方法。

【請求項 14】

—湿度データが、さらに収集され、前記モデルが、前記温度データおよび前記湿度データに基づいて作成される、請求項5に記載の方法。

【請求項 15】

—前記フォトリソグラフィシステムが、圧力データを収集するように構成された1つ以上のセンサ、または湿度データを収集するように構成された1つ以上のセンサを備える、請求項5に記載の方法。 30

【請求項 16】

—前記複数の温度センサが、前記安定化期間中に温度が変動することが知られている前記フォトリソグラフィシステムの部品の近くに配置されている、請求項5に記載の方法。

【請求項 17】

—湿度データが、さらに収集され、前記モデルが、前記温度データおよび前記湿度データに基づいて作成される、請求項8に記載の方法。

【請求項 18】

—前記フォトリソグラフィシステムが、圧力データを収集するように構成された1つ以上のセンサ、または湿度データを収集するように構成された1つ以上のセンサを備える、請求項8に記載の方法。 40

【請求項 19】

—前記モデルが、カスケード過渡モデルである、請求項8に記載の方法。

【請求項 20】

—前記複数の温度センサが、前記安定化期間中に温度が変動することが知られている前記フォトリソグラフィシステムの部品の近くに配置されている、請求項8に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[0001] 本開示の実施形態は、一般に、フォトリソグラフィシステム、およびフォトリソグラフィシステムにおける位置誤差を補正するための方法に関する。

10

20

30

40

50

## 【背景技術】

## 【0002】

【0002】フォトリソグラフィは、半導体デバイスや液晶ディスプレイ（LCD）などのディスプレイデバイスの製造に広く使用されている。多くの場合、LCDの製造には、大面積の基板が使用される。LCD、またはフラットパネルは、コンピュータ、タッチパネルデバイス、携帯情報端末（PDA）、携帯電話、テレビモニタなどのアクティブマトリックスディスプレイに一般に使用される。一般に、フラットパネルは、2つのプレートの間に挟まれたピクセルを形成する液晶材料の層を含み得る。電源からの電力が、液晶材料を横切って印加されると、液晶材料を通過する光の量が、ピクセル位置で制御され、画像を生成することを可能にする。

10

## 【0003】

【0003】一般に、マイクロリソグラフィ技術が、ピクセルを形成する液晶材料層の一部として組み込まれる電気的フィーチャを作製するために使用される。この技術によれば、感光性フォトレジストが、通常、基板の少なくとも1つの表面に塗布される。次に、パターンジェネレータが、パターンの一部として感光性フォトレジストの選択された領域を光で露光し、選択領域のフォトレジストに化学変化を引き起こして、これらの選択領域に、電気的フィーチャを作製するための後続の材料除去および／または材料添加プロセスへの準備をさせる。

## 【0004】

【0004】しかしながら、そのようなマイクロリソグラフィ技術に使用されるツールは、プリンティングおよびパターニング挙動を十分に安定させるのに8時間以上かかる可能性があり、その間、フォトレジストのパターニングは、熱変動などの様々な影響のために不均一になる可能性がある。このツールは、異なる伝導率と熱容量を有する多数の熱源と構成要素を含み、それぞれが、不均一なパターニングを引き起こす変動の原因となる可能性があり、トータルピッチとオーバーレイ補正の再現性に悪影響を及ぼす。

20

## 【0005】

【0005】消費者が要求する価格でディスプレイデバイスおよび他のデバイスを消費者に提供し続けるためには、大面積基板などの基板上にパターンを正確かつ費用効果的に作製するための新しい装置、アプローチ、およびシステムが必要である。

30

## 【発明の概要】

## 【0006】

【0006】本開示は、一般に、フォトリソグラフィシステム、およびフォトリソグラフィシステムにおける位置誤差を補正するための方法に関する。フォトリソグラフィシステムが最初に開始されると、システムは、安定化期間に入る。安定化期間中、システムが基板をプリンティングまたは露光しているときに、位置読み取り値と、温度、圧力、湿度のデータなどのデータが収集される。収集されたデータと位置読み取り値に基づいて、モデルが作成される。次に、モデルを使用して、後続の安定化期間での誤差を推定し、推定された誤差が、後続の安定化期間中に動的に補正される。

## 【0007】

【0007】一実施形態では、方法は、フォトリソグラフィシステムを開始して、安定化期間に入ることと、安定化期間中にフォトリソグラフィシステムがプリンティングしているときに、データおよび位置読み取り値を収集することと、データおよび位置読み取り値に基づいてモデルを作成することと、モデルを使用して後続の安定化期間中に推定誤差を動的に補正することと、を含む。

40

## 【0008】

【0008】別の実施形態では、方法は、フォトリソグラフィシステムを開始して、安定化期間に入ることと、安定化期間中にフォトリソグラフィシステムがプリンティングしているときに、温度データおよび位置読み取り値を収集することと、を含む。温度データは、加熱および冷却期間中に収集される。モデルは、温度データおよび位置読み取り値に基づいてモデルを作成することと、モデルを較正することと、較正されたモデルを使用して

50

、後続の安定化期間での誤差を推定することと、後続の安定化期間中に推定された誤差を動的に補正することと、をさらに含む。

【0009】

【0009】さらに別の実施形態では、方法は、フォトリソグラフィシステムを開始して、安定化期間に入ることと、安定化期間中にフォトリソグラフィシステムがプリンティングしているときに、温度データおよび位置読み取り値を収集することと、温度データおよび位置読み取り値に基づいてモデルを作成することと、フォトリソグラフィシステムの熱容量および伝達率を決定するための最適化問題を形成することと、モデルおよび最適化問題を使用して、後続の安定化期間での誤差を推定することと、後続の安定化期間中に推定された誤差を動的に補正することと、を含む。

10

【0010】

【0010】本開示の上記の特徴が詳細に理解されるように、上記で簡単に要約された本開示のより具体的な説明が、実施形態を参照することによって得られ、そのいくつかが、添付の図面に示されている。しかしながら、添付の図面は、例示的な実施形態のみを示し、したがって、その範囲を限定すると見なされるべきではなく、他の同等に有効な実施形態を認めることができることに留意されたい。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1A】一実施形態による、フォトリソグラフィシステムの斜視図である。

【図1B】別の実施形態による、フォトリソグラフィシステムの斜視図である。

20

【図2】本明細書に開示された実施形態による、画像投影装置の斜視概略図である。

【図3】本明細書に開示された実施形態による、安定化期間中に発生する位置撮動を推定するためにシステム挙動をモデル化および較正する方法を示す。

【図4A】本明細書に開示された実施形態による、データ測定値の例示的なグラフを示す。

【図4B】本明細書に開示された実施形態による、データ測定値の例示的なグラフを示す。

【図4C】本明細書に開示された実施形態による、データ測定値の例示的なグラフを示す。

【図4D】本明細書に開示された実施形態による、データ測定値の例示的なグラフを示す。

【図4E】本明細書に開示された実施形態による、データ測定値の例示的なグラフを示す。

【図4F】本明細書に開示された実施形態による、データ測定値の例示的なグラフを示す。

【図5】本明細書に開示された実施形態による、それぞれがその上に配置された複数のアイを有する第1のブリッジ構成要素および第2のブリッジ構成要素の位置合わせ構成を示す。

30

【図6A】本明細書に開示された実施形態による、200mm/秒のステージ速度でのデータ測定値および位置読み取り値の例示的なグラフを示す。

【図6B】本明細書に開示された実施形態による、200mm/秒のステージ速度でのデータ測定値および位置読み取り値の例示的なグラフを示す。

【図6C】本明細書に開示された実施形態による、200mm/秒のステージ速度でのデータ測定値および位置読み取り値の例示的なグラフを示す。

【図7A】本明細書に開示された実施形態による、100mm/秒のステージ速度でのデータ測定値および位置読み取り値の例示的なグラフを示す。

40

【図7B】本明細書に開示された実施形態による、100mm/秒のステージ速度でのデータ測定値および位置読み取り値の例示的なグラフを示す。

【図7C】本明細書に開示された実施形態による、100mm/秒のステージ速度でのデータ測定値および位置読み取り値の例示的なグラフを示す。

【発明を実施するための形態】

【0012】

【0019】理解を容易にするため、可能な場合には、図に共通する同一の要素を示すために同一の参照番号が使用されている。一実施形態の要素および特徴は、さらに列挙することなく、他の実施形態に有益に組み込まれ得ることが企図されている。

【0013】

50

[ 0 0 2 0 ] 本開示は、一般に、フォトリソグラフィシステム、およびフォトリソグラフィシステムにおける位置誤差を補正するための方法に関する。フォトリソグラフィシステムが最初に開始されると、システムは、安定化期間に入る。安定化期間中、システムが基板をプリントイングまたは露光しているときに、位置読み取り値と、温度、圧力、湿度のデータなどのデータが収集される。収集されたデータと位置読み取り値に基づいて、モデルが作成される。次に、モデルを使用して、後続の安定化期間での誤差を推定し、推定された誤差が、後続の安定化期間中に動的に補正される。

【 0 0 1 4 】

[ 0 0 2 1 ] 図 1 A は、本明細書に開示された実施形態による、フォトリソグラフィシステム 100 の斜視図である。システム 100 は、ベースフレーム 110、スラブ 120、ステージ 130、および処理装置 160 を含む。ベースフレーム 110 は、製造施設の床に置かれ、スラブ 120 を支持する。パッシブエアアイソレータ 112 が、ベースフレーム 110 とスラブ 120 との間に配置されている。一実施形態では、スラブ 120 は、花崗岩のモノリシック片であり、ステージ 130 は、スラブ 120 上に配置されている。基板 140 が、ステージ 130 によって支持されている。複数の穴（図示せず）が、ステージ 130 に形成されて、それを通って複数のリフトピン（図示せず）が伸びることができる。いくつかの実施形態では、リフトピンは、例えば 1 つ以上の移送ロボット（図示せず）から、基板 140 を受け取るために、伸長位置まで上昇する。1 つ以上の移送ロボットを使用して、基板 140 をロードおよびステージ 130 からアンロードする。

10

【 0 0 1 5 】

[ 0 0 2 2 ] 基板 140 は、フラットパネルディスプレイの一部として使用される任意の適切な材料、例えば、アルカリ土類ホウアルミノケイ酸塩を含む。他の実施形態では、基板 140 は、他の材料でできている。いくつかの実施形態では、基板 140 は、その上に形成されたフォトレジスト層を有する。フォトレジストは、放射線感受性が高い。ポジ型フォトレジストは、放射線に曝されたときに、パターンがフォトレジストに書き込まれた後にフォトレジストに適用されたフォトレジスト現像剤に対してそれぞれ可溶性になる、フォトレジストの部分を含む。ネガ型フォトレジストは、放射線に曝されたときに、パターンがフォトレジストに書き込まれた後にフォトレジストに適用されたフォトレジスト現像剤に対してそれぞれ不溶性になる、フォトレジストの部分を含む。フォトレジストの化学組成は、フォトレジストがポジ型フォトレジストであるかネガ型フォトレジストであるかを決定する。フォトレジストの例には、ジアゾナフトキノン、フェノールホルムアルデヒド樹脂、ポリ（メチルメタクリレート）、ポリ（メチルグルタルイミド）、および SU-8 のうちの少なくとも 1 つが含まれるが、これらに限定されない。このようにして、パターンは、電子回路を形成するために基板 140 の表面上に作成される。

20

【 0 0 1 6 】

[ 0 0 2 3 ] システム 100 は、一対の支持体 122 および一対のトラック 124 を含む。一対の支持体 122 は、スラブ 120 上に配置され、一実施形態では、スラブ 120 および一対の支持体 122 は、単一の材料片である。一対のトラック 124 は、一対の支持体 122 によって支持され、ステージ 130 は、トラック 124 に沿って x 方向に移動する。一実施形態では、一対のトラック 124 は、一対の平行な磁気チャネルである。示されているように、一対のトラック 124 の各トラック 124 は、直線状である。別の実施形態では、エアベアリングが、高精度の非接触運動に利用され、リニアモータが、ステージ 130 を x 方向および y 方向に前後に移動させる力を提供するように構成される。他の実施形態では、1 つ以上のトラック 124 が、非直線状である。エンコーダ 126 が、位置情報をコントローラ（図示せず）に提供するために、ステージ 130 に連結されている。

30

【 0 0 1 7 】

[ 0 0 2 4 ] 処理装置 160 は、支持体 162 および処理ユニット 164 を含む。支持体 162 は、スラブ 120 上に配置され、ステージ 130 が処理ユニット 164 の下を通過するための開口 166 を含む。処理ユニット 164 は、支持体 162 によって支持されている。一実施形態では、処理ユニット 164 は、フォトリソグラフィプロセスにおいてフ

40

50

オトレジストを露光するように構成されたパターンジェネレータである。いくつかの実施形態では、パターンジェネレータは、マスクレスリソグラフィプロセスを実行するように構成される。処理ユニット 164 は、複数の画像投影装置（図 2 に示される）を含む。一実施形態では、処理ユニット 164 は、84 ものの画像投影装置を含む。各画像投影装置は、ケース 165 内に配置されている。処理装置 160 は、マスクレス直接パターニングを実行するのに有用である。

【0018】

[0025] 動作中、ステージ 130 は、図 1A に示されるようなローディング位置から処理位置へ x 方向に移動する。処理位置は、ステージ 130 が処理ユニット 164 の下を通過しているときのステージ 130 の 1 つ以上の位置である。動作中、ステージ 130 は、複数のエアベアリング（図示せず）によって持ち上げられ、一对のトラック 124 に沿ってローディング位置から処理位置へ移動する。複数の垂直ガイドエアベアリング（図示せず）が、ステージ 130 に連結され、ステージ 130 の移動を安定させるために、各支持体 122 の内壁 128 に隣接して配置される。ステージ 130 はまた、基板 140 を処理および／または割り出しどうるためにトラック 150 に沿って移動することによって、y 方向にも移動する。ステージ 130 は、独立した動作が可能であり、基板 140 を一方向にスキャンし、他の方向にステップすることができる。

10

【0019】

[0026] 複数の画像投影装置のそれぞれが、フォトレジストで覆われた基板に書き込まれているパターンの位置を正確に特定することができるよう、計測システムが、ステージ 130 のそれぞれの X および Y 横方向位置座標をリアルタイムで測定する。計測システムはまた、垂直軸または z 軸の周りのステージ 130 のそれぞれの角度位置のリアルタイム測定値を提供する。角度位置測定値は、サーボ機構によってスキャン中に角度位置を一定に保つために使用することができ、または、図 2 に示すような画像投影装置 270 によって基板 140 に書き込まれているパターンの位置に補正を適用するために使用することができる。これらの手法は、組み合わせて使用できる。

20

【0020】

[0027] 図 1B は、本明細書に開示された実施形態による、フォトリソグラフィシステム 190 の斜視図である。システム 190 は、システム 100 と同様である。しかしながら、システム 190 は、2 つのステージ 130 を含む。2 つのステージ 130 のそれぞれは、独立した動作が可能であり、基板 140 を一方向にスキャンし、他の方向にステップすることができる。いくつかの実施形態では、2 つのステージ 130 のうちの 1 つが、基板 140 をスキャンしているとき、2 つのステージ 130 のうちの別のものが、露光された基板をアンロードし、露光されるべき次の基板をロードしている。

30

【0021】

[0028] 図 1A～図 1B は、フォトリソグラフィシステムの 2 つの実施形態を示しているが、他のシステムおよび構成もまた、本明細書で企図されている。例えば、任意の適切な数のステージを含むフォトリソグラフィシステムもまた企図されている。

【0022】

[0029] 図 2 は、システム 100 またはシステム 190 などのフォトリソグラフィシステムに有用である、一実施形態による画像投影装置 270 の斜視概略図である。画像投影装置 270 は、1 つ以上の空間光変調器 280、フォーカスセンサ 283 およびカメラ 285 を含む位置合わせおよび検査システム 284、ならびに投影光学系 286 を含む。画像投影装置の構成要素は、使用されている空間光変調器によって異なる。空間光変調器は、マイクロ LED、デジタルマイクロミラーデバイス（DMD）、液晶ディスプレイ（LCD）、および垂直共振器型面発光レーザー（VCSEL）を含むが、これらに限定されない。

40

【0023】

[0030] 動作中、空間光変調器 280 は、画像投影装置 270 を通して基板 140 などの基板に投影される光の、振幅、位相、または偏光などの 1 つ以上の特性を変調するた

50

めに使用される。位置合わせおよび検査システム 284 は、画像投影装置 270 の構成要素の位置合わせおよび検査のために使用される。一実施形態では、フォーカスセンサ 283 は、カメラ 285 のレンズを通ってから、またカメラ 285 のレンズを通って戻って来るように向かされ、センサ上に画像化されて、画像投影装置 270 が焦点が合っているかどうかを検出する複数のレーザーを含む。カメラ 285 は、基板 140 などの基板を画像化して、画像投影装置 270 およびフォトリソグラフィシステム 100 または 190 の位置合わせが正しい、または所定の許容範囲内にあることを保証するために使用される。1 つ以上のレンズなどの投影光学系 286 は、基板 140 などの基板上に光を投影するために使用される。

【0024】

[0031] フォトリソグラフィシステム 100、190 が最初に開始されると、システム 100、190 は、安定化期間に入る。安定化期間は、システムのプリンティングおよびパターニング挙動が安定するまでにかかる時間（つまり、システムが完全にウォームアップするのにかかる時間）である。フォトリソグラフィシステム 100、190 の安定化期間中に、熱変動などの様々な影響および変動が発生し、これらは、トータルピッチおよびオーバーレイ補正の再現性に悪影響を及ぼし得る。場合によっては、様々な影響および変動のせいで、フォトリソグラフィシステム 100、190 がプリンティングおよびパターニング挙動を安定させるのに、8 時間以上かかることがある。さらに、各システム 100、190 は、異なる伝導率および熱容量を有する多数の熱源および構成要素を含み、それぞれが変動に寄与する可能性があり、システム 100、190 を厳密に監視することを困難にする。

10

【0025】

[0032] 安定化期間中にシステム 100、190 を使用して、精度および正確度をもって基板を露光するために、モデルに基づくソフトウェア補正を利用して、安定化期間中に発生する誤差を補正することができる。システム 100、190 の挙動が、以下の図 3 に記載されるように、安定化期間中に発生する潜在的な変動を推定するためにモデル化および較正されて、トータルピッチおよびオーバーレイ補正の再現性を高めることができる。次に、モデルを使用して、システム 100、190 の後続の安定化期間中のオーバーレイおよびトータルピッチ誤差を補正することができる。このモデルを動的位置補正のために利用することにより、コストのかかるハードウェアソリューションを排除または削減できる。さらに、位置補正是デジタルマスクに適用されるので、このモデルを動的位置補正のために使用することができる。

20

【0026】

[0033] 図 3 は、本明細書に開示された実施形態による、安定化期間中に発生する位置撮動を推定するためにシステム挙動をモデル化および較正する方法 300 を示す。方法 300 は、図 1A および図 1B のそれぞれフォトリソグラフィシステム 100、190 で利用することができる。

30

【0027】

[0034] 方法 300 は、フォトリソグラフィシステムが開始され安定化期間に入る、工程 302 から始まる。安定化期間中、システムのプリンティングおよびパターニング挙動は、熱、圧力、および / または湿度の変動などの様々な影響および変動のため、不安定になる可能性がある。安定化期間は、システムのプリンティングおよびパターニング挙動が安定するまでにかかる時間（つまり、システムが完全にウォームアップするのにかかる時間）である。

40

【0028】

[0035] 工程 304 では、フォトリソグラフィシステムが安定化期間中に基板をプリンティングまたは露光しているときに、データおよび位置読み取り値が収集される。データは、生産ラインを模倣するために、システムが基板を位置合わせおよび露光しているときに継続的に収集される。一実施形態では、収集されるデータは、温度データである。温度データは、エンコーダなどの、加熱および冷却中に温度が変動することが知られている

50

ツールの部品の近くに配置された 1 つ以上の温度センサを使用して収集できる。例えば、約 20 個の温度センサをフォトリソグラフィツール上に配置して、チャック、エンコーダ、およびブリッジ / ライザーなどの温度を収集および監視することができる。

【 0 0 2 9 】

【 0 0 3 6 】位置読み取り値を収集するために、キャリプレーションプレートまたは基板上の位置合わせマーク（図 5 に示す）を、安定化期間全体を通して定期的に捕捉することができる。キャリプレーションプレートは、安定化期間中に基準として使用できる。追加的または代替的に、基準として使用される干渉計の読み取り値に対するエンコーダカウントの変化が、さらに定期的に記録されてもよい。次に、使用された基準に対する相対的な位置変化が記録される。

10

【 0 0 3 0 】

【 0 0 3 7 】基板またはキャリプレーションプレート上のパターンプリンティング位置は、安定化期間中に発生する熱的影響および変動のために、意図せずに乱される可能性がある。そのため、基板またはキャリプレーションプレート上の位置読み取り値の摂動は、温度の変動に直接関連付けられ得る。圧力、湿度などの他の影響も位置読み取り値の摂動を引き起こす可能性がある。このような場合、温度センサの代わりに、または温度センサに加えて、圧力データ、湿度データなどを収集するように構成されたセンサを利用することができます。ただし、全体を通して熱的影響を例として使用する。

【 0 0 3 1 】

【 0 0 3 8 】図 4 A ~ 図 4 F は、データ測定値と位置読み取り値のグラフの例を示している。図 4 A ~ 図 4 F は、データ測定値の単なる例であり、限定することを意図したものではない。図 4 A は、200 mm / 秒のステージ速度でのシステム内のブリッジ構成要素とライザー構成要素の一定期間における摂氏温度の変化を示している。図 4 B は、200 mm / 秒のステージ速度でのブリッジ構成要素とライザー構成要素の加熱中に検出されたマイクロメートル単位の y 軸に沿った対応する位置マークを示しており、これは、熱的影響による位置摂動を示している。図 4 C は、100 mm / 秒のステージ速度でのシステム内の第 1 のブリッジ構成要素、第 2 のブリッジ構成要素、およびライザー構成要素の一定期間における摂氏温度の変化を示している。図 4 D は、100 mm / 秒のステージ速度でのブリッジ構成要素とライザー構成要素の加熱中に検出されたマイクロメートル単位の y 軸に沿った対応する位置マークを示しており、これは、熱的影響による y 軸の位置摂動をさらに示している。図 4 E は、フォトリソグラフィシステム内でステージを移動させるマスタモータとスレーブモータの一定期間における摂氏での温度読み取り値を示している。図 4 F は、一定期間において x 軸および y 軸に沿って冷却期間中に検出された位置マークを示している。図 4 A ~ 図 4 F は、安定化中のシステムの挙動を数学的に表すことができる

20

ことを示している。

30

【 0 0 3 2 】

【 0 0 3 9 】図 5 は、一実施形態による、それぞれがその上に配置された複数のアイ 508 を有する第 1 のブリッジ構成要素 504 および第 2 のブリッジ構成要素 506 の位置合わせ構成 500 を示す。位置合わせ構成 500 を使用して、上記の図 4 A ~ 図 4 F に示されるグラフのデータを収集し、以下に示す図 6 A ~ 図 6 C および図 7 A ~ 図 7 C に示されるグラフのデータを収集することができる。第 1 のブリッジ構成要素 504 および第 2 のブリッジ構成要素 506 は、基板またはプレート 502 より上に配置されている。プレート 502 は、複数の位置合わせマーク 510 を含む。32 個の位置合わせマーク 510 が示されているが、任意の数の位置合わせマークを利用することができる。さらに、2 つのブリッジ構成要素 504、506 が示されているが、追加のブリッジ構成要素が、フォトリソグラフィシステムで利用されてもよく、各ブリッジ構成要素 504、506 は、その上に配置された 4 つより多いアイを有してもよい。位置合わせ構成 500 は、位置読み取り値を収集するために利用されるカメラ（図示せず）を有する露光ユニットを含み得る。

40

【 0 0 3 3 】

【 0 0 4 0 】図 6 A ~ 図 6 C は、200 mm / 秒のステージ速度でのデータ測定値および

50

位置読み取り値の例示的なグラフを示す。図 7 A ~ 図 7 C は、100 mm / 秒のステージ速度でのデータ測定値および位置読み取り値の例示的なグラフを示す。図 6 A ~ 図 6 C および図 7 A ~ 図 7 C は、データ測定値の単なる例であり、限定することを意図したものではない。図 6 A ~ 図 6 C および図 7 A ~ 図 7 C のグラフに表示される温度および位置データは、任意の数の温度センサおよびプレート上に配置された任意の数の位置マークを使用して収集または測定することができる。

#### 【 0 0 3 4 】

[ 0 0 4 1 ] 図 6 A および図 7 A は、安定化期間中の時間単位での一定期間における、マイクロメートル単位の x 軸に沿って検出された位置マークを示しており、これは、熱的影響による x 軸の位置摂動を示している。図 6 B と図 7 B は、安定化期間中の時間単位での一定期間における、システムのチャック上の 2 つの異なる場所で測定された温度を摂氏で示している。図 6 C および図 7 C は、安定化期間中の時間単位での一定期間における、システムの第 1 のエンコーダ、第 2 のエンコーダ、および第 3 のエンコーダの温度を摂氏で示している。

10

#### 【 0 0 3 5 】

[ 0 0 4 2 ] 工程 306 において、モデルが、収集されたデータおよび位置読み取り値に基づいて作成される。モデルは、温度の影響、圧力の影響、および / または湿度の影響などを考慮に入れるように作成されたモデルなど、データの 1 つより多いサブセットを含むことができる。モデルを作成するとき、システムは線形または弱い非線形であると仮定される。モデルは、モデルパラメータとして実効熱容量と伝達率を使用できる。モデルは、システムが反復的に動作することを、さらに考慮に入れることができる。図 4 A ~ 図 4 F 、図 6 A ~ 図 6 C 、および図 7 A ~ 図 7 C のうちの 1 つ以上でグラフ化されたデータが、独立してまたは組み合わせて使用されて、モデルの作成を助けることができる。

20

#### 【 0 0 3 6 】

[ 0 0 4 3 ] さらに、動的なアイツーアイおよび / またはブリッジツーブリッジモデルを、作成されるモデルに組み込むことができる。モデルは、互いに対するアイセンタの変動、または図 5 の第 1 および第 2 のブリッジ構成要素 504、506 ならびにアイ 508 などのブリッジ間の分離のドリフトを捕捉することができる。動的なアイツーアイモデルおよび / またはブリッジツーブリッジモデルは、経験的モデルであり得、モデルパラメータは、実験結果に基づいて較正され得る。

30

#### 【 0 0 3 7 】

[ 0 0 4 4 ] 工程 302 および 304 は、モデルを作成するために使用するより多くの量のデータを収集するために、1 回以上繰り返され得る。モデルは、位置誤差を複数のセンサ読み取り値に関連付けることができるカスケード過渡モデルであり得る。各構成要素の過渡応答は、構成要素の熱容量または熱質量、および熱伝達特性によって決定される。次に、このカスケードの経験的モデルを使用して、システムの熱的影響を表すことができる。

#### 【 0 0 3 8 】

[ 0 0 4 5 ] モデルは、以下の変数またはパラメータを使用して形成される：熱的影響なしで安定化期間中に位置読み取り値があるべき位置 ( x , y ) 、熱的影響により位置読み取り値が実際にある位置 ( x ' , y ' ) 、位置読み取り値の摂動の近似値 ( x , y ) (つまり、熱的影響のない位置読み取り値と熱的影響のある位置読み取り値との差) 、初期温度 ( T 0 ) 、および初期温度読み取り値からの温度変化 ( Δ T ) 。一実施形態では、モデルを形成するために、少なくとも初期温度 ( T 0 ) および初期温度読み取り値からの温度変化 ( Δ T ) が、知られていなければならない。熱的影響により位置読み取り値が実際にある位置を概算するために、式 1 ~ 式 4 を使用できる。

40

50

$$\text{式1 : } x' = x + \Delta x (x, y, \bar{T}, \bar{T}_0)$$

$$\text{式2 : } y' = y + \Delta y (x, y, \bar{T}, \bar{T}_0)$$

$$\text{式3 : } \Delta x (x, y, \bar{T}, \bar{T}_0) \approx \sum_{i=1}^N \alpha_{xi} (\Delta T_i, T_{i0}) \phi_{xi} (x, y)$$

$$\text{式4 : } \Delta y (x, y, \bar{T}, \bar{T}_0) \approx \sum_{i=1}^N \alpha_{yi} (\Delta T_i, T_{i0}) \phi_{yi} (x, y)$$

### 【0039】

10

[0046] 式3と式4において、 $x'$ は、空間モードであり、 $y'$ は、温度と全体的な位置変化との間のモデル変換である。位置摂動( $x', y'$ )は、以前の読み取り値と現在の読み取り値の両方を含む、全ての温度センサ読み取り値の関数として定式化される。

### 【0040】

[0047] 工程308において、モデルが較正される。モデルの較正は、安定化期間をモデル化するためにフォトリソグラフィシステムを継続的に動作させること、および冷却期間をモデル化するために安定化期間後にフォトリソグラフィシステムをアイドル状態に保つことを含み得る。モデルは、最適化問題を形成することによってさらに較正される。最適化問題は、全体的コスト関数(C)(以下の式7に示されている)を最小化するためのモデルパラメータを取得するために形成される。コストは、複数の位置( $x, y$ )および遷移を表すための複数の温度条件での測定値とモデル予測値との間の差の合計として定義される。最適化問題は、コスト関数を最小化するように形成することができる。

20

### 【0041】

[0048] 最適化問題は、安定化期間中のシステムの複数の熱容量と伝達率を決定するために形成される。オプティマイザの入力は、複数の位置での、収集された温度読み取り値および対応する位置誤差である。オプティマイザの出力は、熱容量と伝達率のセットである。オプティマイザは、基板上の測定された位置とモデル推定された位置との間の差を最小化することができる。モデルは、式5～式7を使用して較正できる。式5と式6は、モデルの予測誤差のために使用され、ここで、 $x'_{meas}$ と $y'_{meas}$ は、熱的影響による測定された位置変化である。式7は、コスト関数であり、ここで、Kは、収集されたデータの数であり、Lは、較正されたパラメータの数である。

30

$$\text{式5 : } \varepsilon_x (x, y) = x'_{meas} - x'$$

$$\text{式6 : } \varepsilon_y (x, y) = y'_{meas} - y'$$

$$\text{式7 : } C = \sqrt{\frac{1}{LK} \left( \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \varepsilon_x^{k, l} \right)^2} + \sqrt{\frac{1}{LK} \left( \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \varepsilon_y^{k, l} \right)^2}$$

### 【0042】

40

[0049] 工程310において、較正されたモデルは、後続の安定化期間における誤差を推定するために使用され、後続の安定化期間における推定された誤差は、動的に補正される。モデルが較正された後、モデルは、後続の安定化期間中に、熱的影響による予測された位置誤差および摂動を補正するために使用され得る。上記のように、熱的影響は、考慮され得る1つのタイプの影響または変動にすぎず、限定的な例を意図したものではない。安定化期間中の推定された位置誤差は、フォトリソグラフィシステムのデジタルマスクをオンザフライ(その場)で動的に修正することによって補正することができ、物理的なフォトリソグラフィシステム自体に加えられた補正または変更ではない。推定された位置誤差の補正は、デジタルマスクへの露光中にプレートごとまたは基板ごとに適用される動的デジタル補正であり得る。

50

## 【0043】

【0050】較正されたモデルは、フォトリソグラフィシステムの安定性を監視するためにさらに使用され得る。デジタルマスクの位置合わせをモデル化する位置合わせモデルが、較正されたモデルに基づいて形成され得る。次に、位置合わせモデルを、後続の安定化期間中のデジタルマスクの位置合わせと比較することができる。後続の安定化期間中の位置合わせと位置合わせモデルとの比較を使用して、類似性メトリックを決定することができる。類似性メトリックを使用して、後続の安定化期間が、モデルの作成に使用された最初の安定化期間と同じであるかどうか（つまり、最初の安定化期間と同じ位置撮動が後続の安定化期間で発生するかどうか）を判定できる。類似性メトリックは、同じ位置撮動が繰り返し発生しているかどうかを判定することによって、システムの安定性を判定できる。システムが安定している場合、安定化期間中の同じ時点で同じ誤差が繰り返し発生するため、潜在的な位置誤差の推定が容易になる。

10

## 【0044】

【0051】少なくとも1つの実施態様では、モデルは、ニューラルネットワークなどの、モデルガイダンスを備えた機械学習モデルまたは問題であり得る。例えば、大量のデータが利用可能である場合、フォトリソグラフィシステムは、複数のセンサおよび大量のデータを使用して、後続の安定化期間で誤差が発生する前に、発生頻度の高い位置撮動または誤差を事前に補正することができる。システムは、データ、センサ、および／またはモデルを使用して、発生頻度の高い誤差を推定または決定し、誤差が発生する前に潜在的な誤差を補償することができる。発生頻度の高い撮動または誤差を補償した後、システムは、さらに、現在のプリンティング位置をモデルと比較して、補償が実際に潜在的な誤差を補正したかどうかを判定することができ、必要に応じて追加の調整を行うことができる。したがって、誤差が発生したときにオンザフライで誤差を補正する代わりに、システムは、機械学習アルゴリズムを使用して、発生前に潜在的な誤差を事前に補償することができる。

20

## 【0045】

【0052】上記の方法を使用して、フォトリソグラフィシステムの挙動を正確にモデル化および較正して、安定化期間中に発生する位置撮動を推定することができ、これにより、トータルピッチおよびオーバーレイ補正の再現性が向上する。次に、モデルを使用して、デジタルマスクを調整することにより、システムの後続の安定化期間中にオンザフライでオーバーレイおよびトータルピッチ誤差を補正できる。さらに、システムが大量のデータを利用できる場合、システムは、モデルガイダンスを備えた機械学習モデルを使用して、誤差が発生する前に潜在的な位置撮動または誤差を事前に補償することができる。

30

## 【0046】

【0053】このモデルを動的位置補正のために利用することにより、コストのかかるハードウェアソリューションを排除または削減できる。位置補正是デジタルマスクに適用されるので、このモデルは、動的位置補正に簡単に使用できる。さらに、モデルはソフトウェアベースのソリューションであるので、以前は含まれていなかった、もしくはカバーされていなかった新しい影響を含めるために、または当初は利用できなかった追加のセンサを含めるために、新しいモデル形式を開発できる。このようにして、フォトリソグラフィシステムは、それらの安定化期間中のプレートまたは基板の露光のために、正確に利用することができる。

40

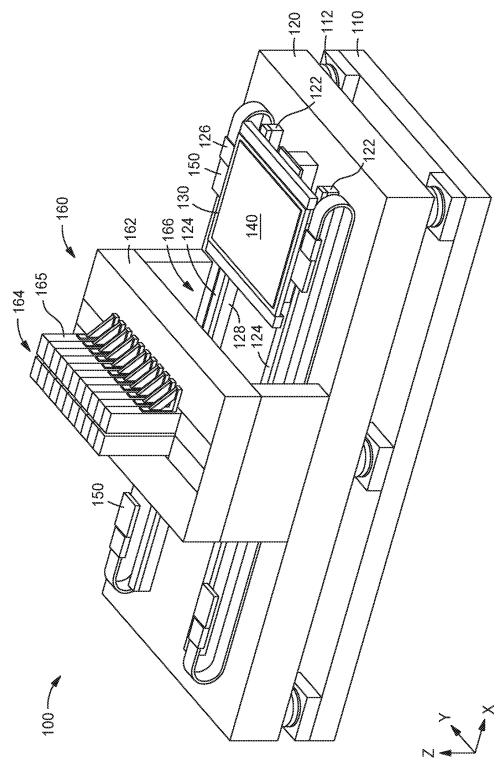
## 【0047】

【0054】上記は、本開示の実施形態に向けられているが、本開示の他のさらなる実施形態が、その基本的な範囲から逸脱することなく考案されることができ、その範囲は、以下の特許請求の範囲によって決定される。

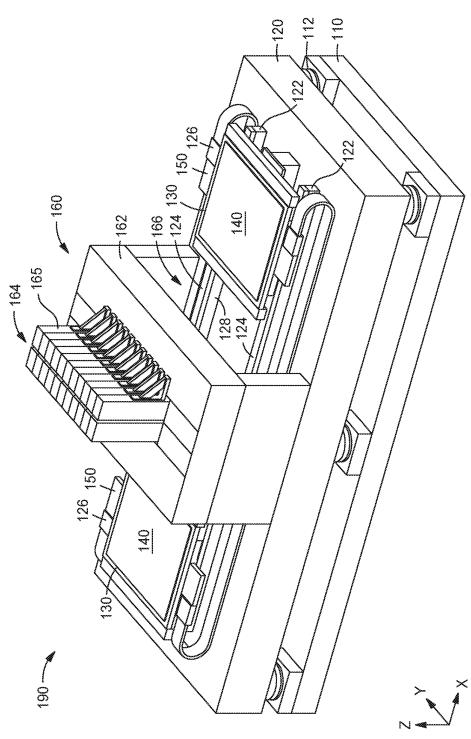
50

【図面】

【図 1 A】



【図 1 B】



10

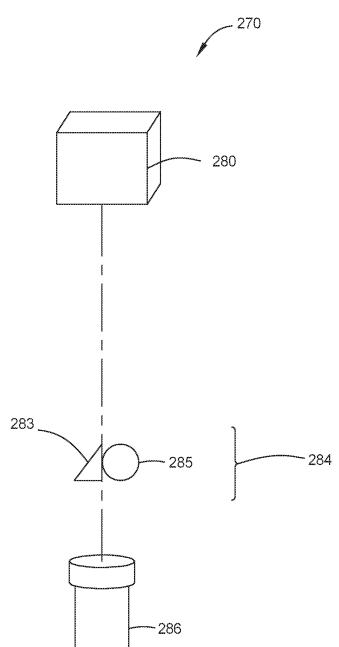
20

30

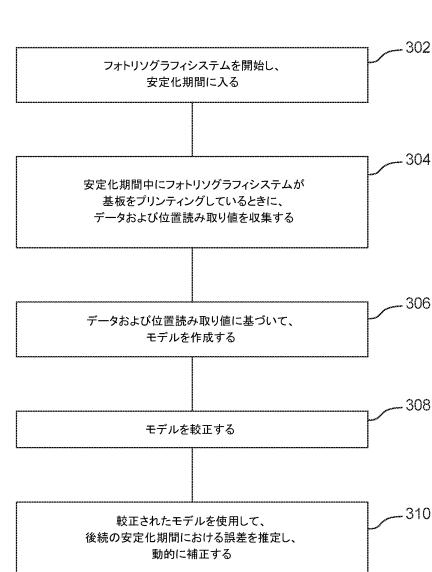
40

50

【図2】



【図3】

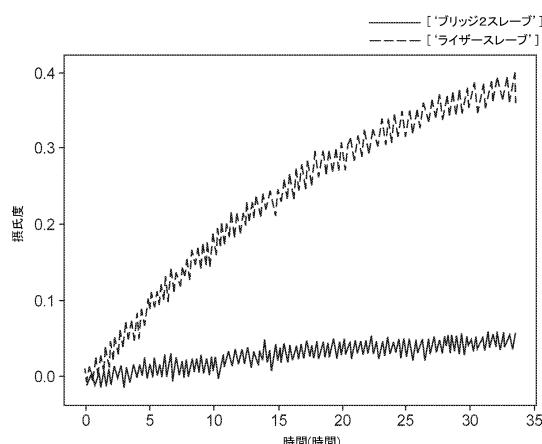


10

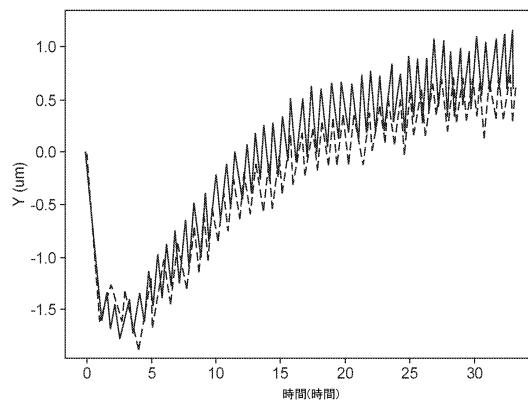
20

30

【図4 A】



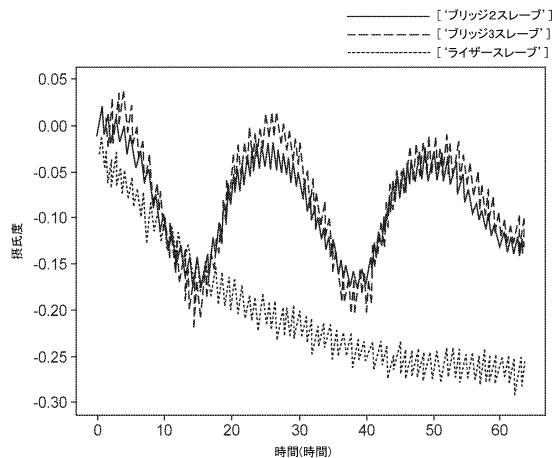
【図4 B】



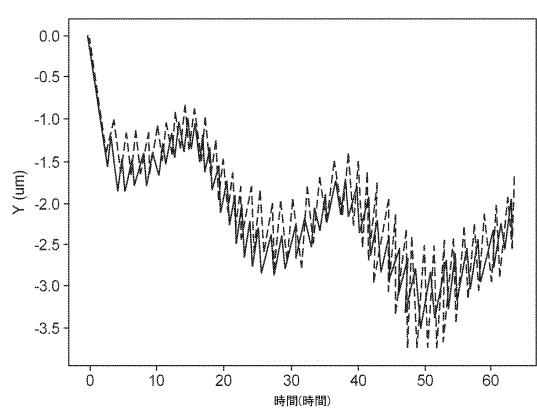
40

50

【図 4 C】

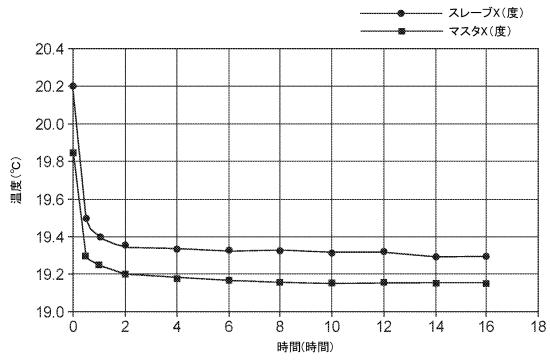


【図 4 D】

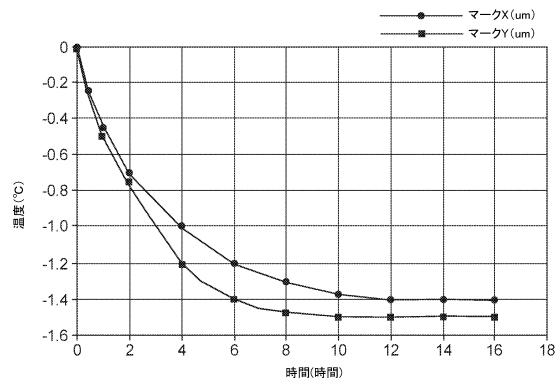


10

【図 4 E】



【図 4 F】



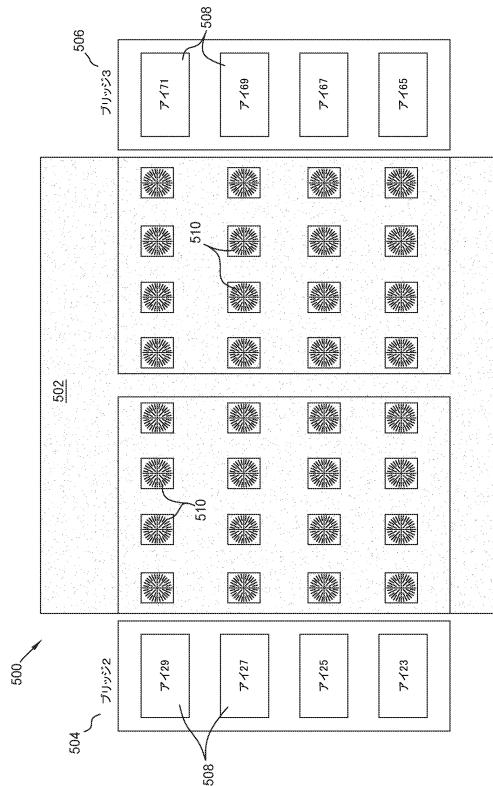
20

30

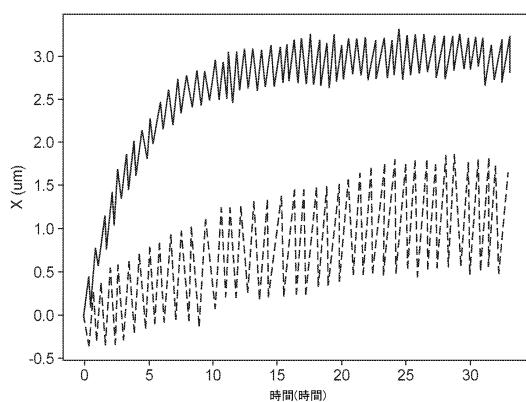
40

50

【図 5】

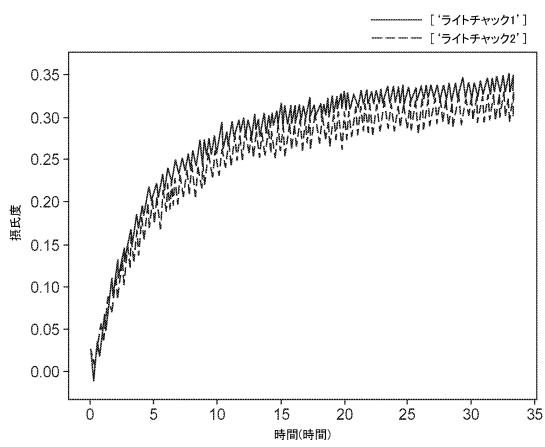


【図 6 A】



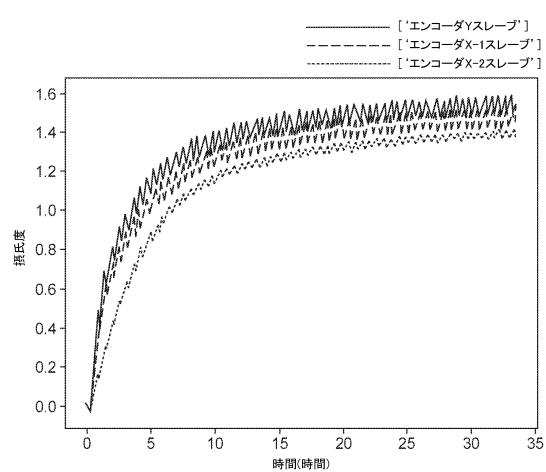
10

【図 6 B】



20

【図 6 C】

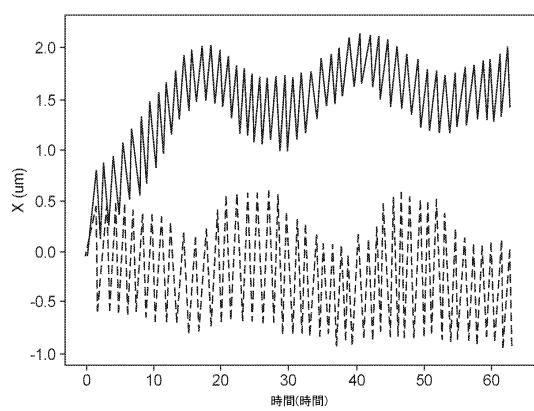


30

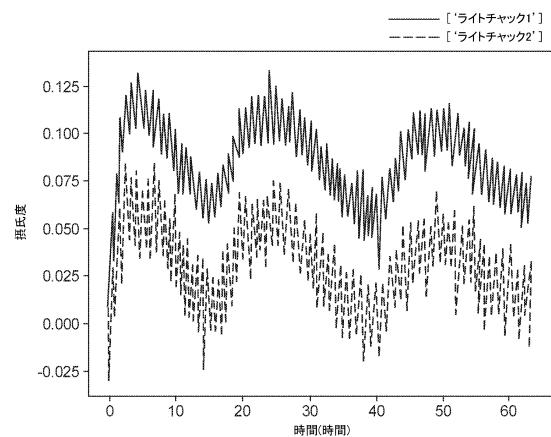
40

50

【図 7 A】

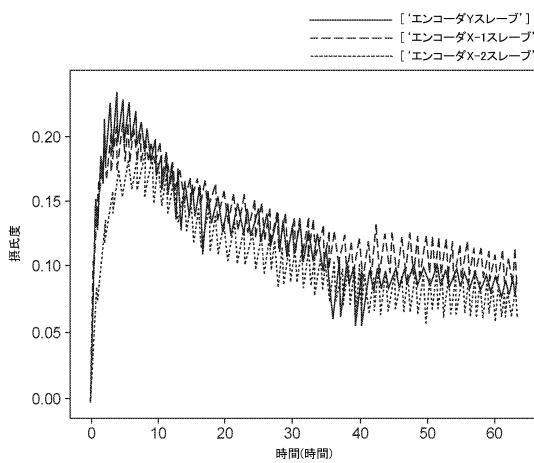


【図 7 B】



10

【図 7 C】



20

30

40

50

---

フロントページの続き

35, サンノゼ, リトルワース ウェイ 4209

(72)発明者 ポイラズ, ムハンマド

アメリカ合衆国 カリフォルニア 95051, サンタクララ, グラナダ アヴェニュー 3480, アパートメント 182

(72)発明者 チョン, チン

アメリカ合衆国 カリフォルニア 95051, サンタクララ, ギアニーニ ドライブ 546

(72)発明者 モンコルウォングロイン, パシャ

アメリカ合衆国 カリフォルニア 94555, フリーモント, フェリックス テラス 34542

審査官 三好 貴大

(56)参考文献 特開2003-107725 (JP, A)

特開2014-074837 (JP, A)

特開2004-327807 (JP, A)

特開2005-026439 (JP, A)

国際公開第2005/083756 (WO, A1)

特開平08-137550 (JP, A)

米国特許出願公開第2018/0275525 (US, A1)

中国特許出願公開第102445149 (CN, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G03F 7/20

9/00

H01L 21/027