

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6830486号  
(P6830486)

(45) 発行日 令和3年2月17日 (2021.2.17)

(24) 登録日 令和3年1月28日 (2021.1.28)

(51) Int. Cl.

F I

G03F 7/20 (2006.01)

G03F 7/20 501

G02B 7/00 (2021.01)

G03F 7/20 521

G02B 7/198 (2021.01)

G02B 7/00 B

G02B 7/185 (2021.01)

G02B 7/198

G02B 17/00 (2006.01)

G02B 7/185

請求項の数 29 (全 26 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2018-528584 (P2018-528584)  
 (86) (22) 出願日 平成27年12月3日 (2015.12.3)  
 (65) 公表番号 特表2019-505828 (P2019-505828A)  
 (43) 公表日 平成31年2月28日 (2019.2.28)  
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2015/078548  
 (87) 国際公開番号 WO2017/092815  
 (87) 国際公開日 平成29年6月8日 (2017.6.8)  
 審査請求日 平成30年11月29日 (2018.11.29)

(73) 特許権者 503263355  
 カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー  
 エムペーハー  
 ドイツ連邦共和国、73447 オーバー  
 コッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラ  
 ーセ 2  
 (74) 代理人 100147485  
 弁理士 杉村 憲司  
 (74) 代理人 230118913  
 弁理士 杉村 光嗣  
 (74) 代理人 100205833  
 弁理士 宮谷 昂佑  
 (72) 発明者 シュテファン ヘムバッハー  
 ドイツ国 86399 ボビンゲン ブッ  
 サルトベーク 7

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 能動的に調整可能なメトロロジー支持ユニットを備える光学結像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光学投影系と、  
 支持構造系と、  
 制御装置と、

を備える光学結像装置であって、

前記光学投影系が光学素子群を備え、該光学素子群が、前記支持構造系によって支持され、露光プロセスにおいて露光光を使用して露光経路に沿って、マスクのパターンの像を基板上に転写するよう構成され、

前記光学素子群が、第1光学素子と、第2光学素子と、を備え、

前記制御装置が、センサデバイスと、能動デバイスと、を備え、

前記センサデバイスが、機械的外乱が最も迅速に前記第1光学素子に向かって伝搬する外乱経路上のセンサ位置にあり、

前記センサデバイスが、機能的に第1光学素子に関連付けられ、前記第1光学素子に作用する機械的外乱を、全6自由度までの少なくとも1つの自由度で表す機械的外乱情報を捕捉するよう構成され、

前記制御装置が、前記能動デバイスを前記機械的外乱情報に応じて制御するよう構成され、そのため、前記能動デバイスが前記光学素子のうちの1つの光学素子に作用し、前記第1光学素子に作用する前記機械的外乱に起因する前記光学結像装置の光学結像誤差を、前記露光プロセスの間に少なくとも部分的に補正し、

10

20

前記センサ位置が、前記外乱経路に沿った、前記第 1 光学素子からのセンサ位置距離に位置し、前記機械的外乱が、前記外乱経路に沿って、前記センサ位置から前記第 1 光学素子への外乱ランタイムを有し、前記センサ位置距離が、前記制御装置の制御反応時間が前記外乱ランタイム以下になるように選択され、

前記能動デバイスが、少なくとも前記第 2 光学素子に作用し、前記第 1 光学素子に作用する前記機械的外乱に起因する前記第 1 光学素子の変形に起因する前記光学結像誤差を少なくとも部分的に補正し、

前記制御装置が制御情報を記憶するメモリを備え、

前記制御情報が、前記機械的外乱情報に応じて前記能動デバイスに提供されるべき少なくとも 1 つの制御信号を表し、前記機械的外乱に起因する前記第 1 光学素子の前記変形に起因する前記光学結像誤差を少なくとも部分的に補正し、及び

前記制御装置の制御ユニットは、前記光学結像誤差を少なくとも部分的に補正するために、前記機械的外乱情報及び前記制御情報を使用して、少なくとも 1 つの補正制御信号を生成し、該補正制御信号を前記能動デバイスに転送するよう構成されることを特徴とする光学結像装置。

#### 【請求項 2】

請求項 1 に記載の光学結像装置であって、

前記能動デバイスが、前記支持構造系の能動支持ユニットを備え、該能動支持ユニットが、前記第 2 光学素子を支持し、少なくとも 1 つの自由度で前記第 2 光学素子の位置及び / 又は配向及び / 又は変形を調整するよう構成され、及び / 又は、

前記能動デバイスが能動変形デバイスを備え、該能動変形デバイスが、前記第 2 光学素子に割り当てられ、少なくとも 1 つの自由度で前記第 2 光学素子の変形を調整するよう構成される、光学結像装置。

#### 【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の光学結像装置であって、

前記センサデバイスが少なくとも 1 つのセンサユニットを備え、及び

該少なくとも 1 つのセンサユニットが、前記第 1 光学素子を備える光学素子ユニットに機械的に接続され、及び / 又は、

前記少なくとも 1 つのセンサユニットが、前記第 1 光学素子に機械的に接続され、及び / 又は、

前記少なくとも 1 つのセンサユニットが、光学結像装置構成部品に、センサ位置で、機械的に接続され、及び / 又は、

前記少なくとも 1 つのセンサユニットが、加速情報を前記機械的外乱情報として、全 6 自由度までの少なくとも 1 つの自由度で捕捉するよう構成される、光学結像装置。

#### 【請求項 4】

請求項 3 に記載の光学結像装置であって、

前記少なくとも 1 つのセンサユニットが、前記支持構造系の支持構造構成部品に、前記第 1 光学素子の近傍に位置する前記センサ位置で、機械的に接続される、光学結像装置。

#### 【請求項 5】

請求項 3 又は 4 に記載の光学結像装置であって、

前記制御装置が、前記機械的外乱情報を捕捉してから少なくとも前記第 2 光学素子に作用して、前記光学結像誤差を少なくとも部分的に補正するまでの前記制御反応時間を有する、光学結像装置。

#### 【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載の光学結像装置であって、

前記制御情報が、従前に確立された機械的数値モデル及び従前に確立された光学モデルを含み、

前記機械的数値モデルが、前記光学結像装置のモデル化部分の数値モデルであり、該モデル化部分が、少なくとも、前記第 1 光学素子、前記機械的外乱情報が捕捉される捕捉位置、及び前記機械的外乱が沿って、前記捕捉位置から前記第 1 光学素子に伝播する外乱経

10

20

30

40

50

路を含み、

前記機械的数値モデルが、前記捕捉位置における前記機械的外乱に反応する前記第 1 光学素子の幾何学的形状における幾何学的変化を表し、

前記光学モデルが、前記幾何学的変化に応じた前記光学結像誤差の結像誤差変化を表し、

前記制御装置が、前記結像誤差変化に応じた前記補正制御信号を生成するよう構成される、光学結像装置。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の光学結像装置であって、

前記機械的数値モデルが、前記捕捉位置における前記機械的外乱に反応する前記第 1 光学素子の位置及び / 又は配向における幾何学的変化をさらに表し、及び / 又は、

前記制御装置が、従前に確立され前記メモリに記憶され、前記結像誤差変化に応じた前記補正制御信号を表す補正制御信号情報を使用する、光学結像装置。

【請求項 8】

請求項 6 又は 7 に記載の光学結像装置であって、

前記制御装置が、前記補正制御信号を生成するために、前記捕捉位置で捕捉される実際の機械的外乱に反応する前記第 1 光学素子の実際の幾何学的変化を、前記機械的数値モデルを使用して予測し、予測された前記実際の幾何学的変化に応じた前記光学結像誤差の実際の結像誤差変化を、前記光学モデルを使用して予測し、予測された前記実際の結像誤差変化に応じた実際の補正制御信号を、補正制御信号情報を使用して生成するよう構成される、光学結像装置。

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 の何れか一項に記載の光学結像装置であって、

前記制御情報が、前記光学結像装置のモデル化部分の数値モデルを使用して確立されており、前記モデル化部分が、少なくとも、前記第 1 光学素子、前記機械的外乱情報が捕捉される捕捉位置、及び前記機械的外乱が沿って、前記捕捉位置から前記第 1 光学素子に伝播する外乱経路を含み、機械的数値モデルが、前記捕捉位置における前記機械的外乱に反応する前記第 1 光学素子の、位置及び / 又は配向及び / 又は幾何学的形状における、幾何学的変化を表し、及び / 又は、

前記制御情報が、前記機械的外乱に反応する前記第 1 光学素子の幾何学的変化に応じた前記光学結像誤差の結像誤差変化を表す光学モデルを使用して確立されており、及び / 又は、

前記制御情報が、結像誤差変化に応じた前記補正制御信号を表す、補正制御信号情報を使用して確立されている、光学結像装置。

【請求項 10】

請求項 1 ~ 9 の何れか一項に記載の光学結像装置であって、

前記制御情報が、前記第 1 光学素子の定義された機械的励起に反応する前記光学結像誤差の変化を表す、結像誤差変化情報を使用して確立されており、

前記定義された機械的励起が、前記支持構造系の少なくとも 1 つのアクチュエータデバイスを使用して発生されている、光学結像装置。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の光学結像装置であって、

前記定義された機械的励起が、前記第 1 光学素子を支持するアクチュエータデバイス及び / 又は前記支持構造系の部分を支持するアクチュエータデバイスを使用して発生されており、及び / 又は、

前記定義された機械的励起が、正弦波励起であり、及び / 又は、

前記定義された機械的励振が、 $0.05 \text{ Hz}$  乃至  $1000 \text{ Hz}$  の励起周波数を有し、及び / 又は、

前記第 1 光学素子が、一次曲げ共振周波数を有し、前記励起周波数が、 $0.05 \text{ Hz}$  から前記一次曲げ共振周波数の三分の二までの範囲にある、光学結像装置。

## 【請求項 1 2】

請求項 1 ~ 1 1 の何れか一項に記載の光学結像装置であって、  
前記支持構造系が、基礎支持構造及び中間支持構造を備え、  
前記第 1 光学素子が、前記中間支持構造上に支持され、及び、  
前記中間支持構造が、振動絶縁装置を介して前記基礎支持構造上に支持され、前記振動絶縁装置が、10 Hz から 1 Hz までの範囲の振動絶縁共振周波数を有する、光学結像装置。

## 【請求項 1 3】

請求項 1 ~ 1 2 の何れか一項に記載の光学結像装置であって、  
前記光学結像装置が、EUV 範囲の露光光波長の露光光を使用するマイクロリソグラフィで使用されるよう構成され、  
前記露光光が、5 nm から 20 nm までの範囲の露光光波長を有し、  
前記光学素子群の前記光学素子が、反射光学素子である、光学結像装置。

10

## 【請求項 1 4】

請求項 1 ~ 1 3 の何れか一項に記載の光学結像装置であって、  
前記第 1 光学素子が、前記光学素子群の前記光学素子の中で、最大であり及び / 又は最も重い、光学結像装置。

## 【請求項 1 5】

請求項 1 ~ 1 4 の何れか一項に記載の光学結像装置であって、  
照明ユニット、マスクユニット、及び基板ユニットが備えられ、前記照明ユニットは、  
前記マスクユニット内に受容された前記マスクを、前記露光光で照明するよう構成され、  
前記基板ユニットが、前記光学投影系によって転写された前記像を受け取るために、前記基板を受容するよう構成される、光学結像装置。

20

## 【請求項 1 6】

露光プロセスにおいて、光学結像装置の光学結像誤差を少なくとも部分的に補正する方法であって、前記光学結像装置が、光学投影系と、支持構造系と、制御装置と、を備え、  
前記光学投影系が、第 1 光学素子及び第 2 光学素子を含む光学素子群を備え、該光学素子群が、前記支持構造系に支持され、前記露光プロセスにおいて露光経路に沿う露光光を使用して、マスクのパターンの像を基板上に転写し、

機械的外乱が最も迅速に前記第 1 光学素子に向かって伝搬する外乱経路上のセンサ位置にあるセンサデバイスを機能的に前記第 1 光学素子に関連させるステップと、前記第 1 光学素子に作用する機械的外乱を、全 6 自由度までの少なくとも 1 つの自由度で表す機械的外乱情報を捕捉するステップと、

30

能動デバイスを前記機械的外乱情報に応じて制御し、前記能動デバイスが前記光学素子のうちの 1 つの光学素子に作用し、前記第 1 光学素子に作用する前記機械的外乱に起因する前記光学結像誤差を少なくとも部分的に補正するステップと、を含み

前記センサ位置が、前記外乱経路に沿った、前記第 1 光学素子からのセンサ位置距離に位置し、前記機械的外乱が、前記外乱経路に沿って、前記センサ位置から前記第 1 光学素子への外乱ランタイムを有し、前記センサ位置距離が、前記制御装置の制御反応時間が前記外乱ランタイム以下になるように選択され、

40

前記能動デバイスが、少なくとも前記第 2 光学素子に作用し、前記第 1 光学素子に作用する前記機械的外乱に起因する前記第 1 光学素子の变形に起因する前記光学結像誤差を少なくとも部分的に補正し、

制御情報が、前記機械的外乱情報に応じて前記能動デバイスに提供されるべき少なくとも 1 つの制御信号を表し、前記機械的外乱に起因する前記第 1 光学素子の前記变形に起因する前記光学結像誤差を少なくとも部分的に補正し、メモリから検索され、及び

前記制御装置の制御ユニットは、前記光学結像誤差を少なくとも部分的に補正するために、前記機械的外乱情報及び前記制御情報を使用して、少なくとも 1 つの補正制御信号を生成し、該補正制御信号を前記能動デバイスに転送することを特徴とする方法。

## 【請求項 1 7】

50

請求項 16 に記載の方法であって、

前記支持構造系の能動支持ユニットは、前記能動デバイスの部分を形成し、前記第 2 光学素子を支持し、少なくとも 1 つの自由度で前記第 2 光学素子の位置及び / 又は配向及び / 又は変形を調整し、前記光学結像誤差を少なくとも部分的に補正し、及び / 又は、

能動変形デバイスは、前記能動デバイスの部分を形成し、少なくとも 1 つの自由度で前記第 2 光学素子の変形を調整し、前記光学結像誤差を少なくとも部分的に補正する、方法。

【請求項 18】

請求項 16 又は 17 に記載の方法であって、

前記センサデバイスが少なくとも 1 つのセンサユニットを備え、及び

前記少なくとも 1 つのセンサユニットが、前記第 1 光学素子を備える光学素子ユニットに機械的に接続され、及び / 又は、

前記少なくとも 1 つのセンサユニットが、前記第 1 光学素子に機械的に接続され、及び / 又は、

前記少なくとも 1 つのセンサユニットが、光学結像装置構成部品に、センサ位置で、機械的に接続され、及び / 又は、

前記少なくとも 1 つのセンサユニットが、加速情報を前記機械的外乱情報として、全 6 自由度までの少なくとも 1 つの自由度で捕捉する、方法。

【請求項 19】

請求項 18 に記載の方法であって、

前記少なくとも 1 つのセンサユニットが、前記支持構造系の支持構造構成部品に、前記第 1 光学素子の近傍に位置する前記センサ位置で、機械的に接続される、方法。

【請求項 20】

請求項 16 ~ 19 の何れか一項に記載の方法であって、

前記制御情報が、従前に確立された機械的数値モデル及び従前に確立された光学モデルを含み、

前記機械的数値モデルが、前記光学結像装置のモデル化部分の数値モデルであり、該モデル化部分が、少なくとも、前記第 1 光学素子、前記機械的外乱情報が捕捉される捕捉位置、及び前記機械的外乱が沿って、前記捕捉位置から前記第 1 光学素子に伝播する外乱経路を含み、

前記機械的数値モデルが、前記捕捉位置における前記機械的外乱に反応する前記第 1 光学素子の幾何学的形状における幾何学的変化を表し、

前記光学モデルが、前記幾何学的変化に応じた前記光学結像誤差の結像誤差変化を表し、及び

前記制御装置が、前記結像誤差変化に応じた前記補正制御信号を生成する、方法。

【請求項 21】

請求項 20 に記載の方法であって、

前記機械的数値モデルが、前記捕捉位置における前記機械的外乱に反応する前記第 1 光学素子の位置及び / 又は配向における幾何学的変化をさらに表し、及び / 又は、

前記制御装置が、従前に確立され、前記メモリに記憶され、前記結像誤差変化に応じた前記補正制御信号を表す補正制御信号情報を使用する、方法。

【請求項 22】

請求項 20 又は 21 に記載の方法であって、

前記制御装置が、前記捕捉位置で捕捉される実際の機械的外乱に反応する前記第 1 光学素子の実際の幾何学的変化を、前記機械的数値モデルを使用して予測し、さらに、予測された前記実際の幾何学的変化に応じた前記光学結像誤差の実際の結像誤差変化を、前記光学モデルを使用して予測し、さらに、予測された前記実際の結像誤差変化に応じた実際の補正制御信号を、補正制御信号情報を使用して生成する、方法。

【請求項 23】

請求項 16 ~ 22 の何れか一項に記載の方法であって、

前記制御情報が、前記光学結像装置のモデル化部分の数値モデルを使用して確立され、前記モデル化部分が、少なくとも、前記第 1 光学素子、前記機械的外乱情報が捕捉される捕捉位置、及び前記機械的外乱が沿って、前記捕捉位置から前記第 1 光学素子に伝播する外乱経路を含み、機械的数値モデルが、前記捕捉位置における前記機械的外乱に反応する前記第 1 光学素子の、位置及び／又は配向及び／又は幾何学的形状における、幾何学的変化を表し、及び／又は、

前記制御情報が、前記機械的外乱に反応する前記第 1 光学素子の幾何学的変化に応じた前記光学結像誤差の結像誤差変化を表す光学モデルを使用して確立され、及び／又は、

前記制御情報が、前記光学結像誤差の結像誤差変化に応じた前記補正制御信号を表す、補正制御信号情報を使用して確立される、方法。

10

#### 【請求項 2 4】

請求項 1 6 ~ 2 3 の何れか一項に記載の方法であって、

前記制御情報が、前記第 1 光学素子の定義された機械的励起に反応する前記光学結像誤差の変化を表す、結像誤差変化情報を使用して確立され、

前記定義された機械的励起が、前記支持構造系の少なくとも 1 つのアクチュエータデバイスを使用して発生されている、方法。

#### 【請求項 2 5】

請求項 2 4 に記載の方法であって、

前記定義された機械的励起が、前記第 1 光学素子を支持するアクチュエータデバイス及び／又は前記支持構造系の部分を支持するアクチュエータデバイスを使用して発生され、及び／又は、

20

前記定義された機械的励起が、正弦波励起であり、及び／又は、

前記定義された機械的励振が、0.05 Hz 乃至 1000 Hz の励起周波数を有し、及び／又は、

前記第 1 光学素子が、一次曲げ共振周波数を有し、前記励起周波数が、0.05 Hz から前記一次曲げ共振周波数の三分の二までの範囲にある、方法。

#### 【請求項 2 6】

請求項 1 6 ~ 2 5 の何れか一項に記載の方法であって、

前記第 1 光学素子が、中間支持構造上に支持され、及び

前記中間支持構造が、振動絶縁装置を介して基礎支持構造上に支持され、前記振動絶縁装置が、10 Hz から 1 Hz までの範囲の振動絶縁共振周波数を有する、方法。

30

#### 【請求項 2 7】

請求項 1 6 ~ 2 6 の何れか一項に記載の方法であって、

前記光学結像装置が、EUV 範囲の露光光波長の露光光を使用するマイクロリソグラフィで使用され、

前記露光光が、5 nm から 20 nm までの範囲の露光光波長を有し、

前記光学素子群の前記光学素子が、反射光学素子である、方法。

#### 【請求項 2 8】

請求項 1 6 ~ 2 7 の何れか一項に記載の方法であって、

照明ユニット、マスクユニット、及び基板ユニットが備えられ、前記照明ユニットは、前記マスクユニット内に受容された前記マスクを、前記露光光で照明し、前記基板ユニットが、前記光学投影系によって転写された前記像を受け取るために、前記基板を受容する、方法。

40

#### 【請求項 2 9】

光学結像方法であって、

光学結像装置で露光光を使用する露光プロセスにおいて、パターンの像を基板上に転写するステップと、

前記露光プロセスの間、前記光学結像装置の光学結像誤差を、請求項 1 7 ~ 2 8 の何れか一項に記載の方法を使用して、少なくとも部分的に補正するステップと、を含む光学結像方法。

50

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、露光プロセスで使用される光学結像装置、特にマイクロリソグラフィシステムの光学結像装置に関する。本発明は、更に、そうした光学結像装置の結像誤差を少なくとも部分的に補正する方法、及びそうした結像誤差の補正を含む光学結像方法に関する。本発明は、マイクロ電子デバイス、特に半導体デバイスを製造するフォトリソグラフィプロセス、又はそのようなフォトリソグラフィプロセスの間に使用されるマスク又はレチクルのようなデバイスの製造に使用できる。

## 【背景技術】

10

## 【0002】

典型的に、半導体デバイスなどのマイクロ電子デバイスの製造に使用される光学系は、光学系の露光経路に配置されたレンズ及びミラー等のような光学素子を備える複数の光学素子ユニットを備える。それらの光学素子は、通常露光プロセスにおいて協働し、マスク、レチクル等の上に形成されたパターンの像を、ウエハのような基板上へ転写する。光学素子は通常、1つ以上の機能的に別個の光学素子群に組み合わされる。これら別個の光学素子群は、別個の光学露光ユニットにより保持することができる。特に、主として屈折系においては、そうした光学露光ユニットが、1つ以上の光学素子を保持する光学素子モジュールのスタックから構成されることが多い。これらの光学素子モジュールは、通常、外部に略環状の支持デバイスを備える。支持デバイスは1つ以上の光学素子ホルダを支持する。そして各光学素子ホルダが光学素子を支持する。

20

## 【0003】

しかしながら、半導体デバイスの小型化の進行に伴い、これらの半導体デバイスの製造に使用される光学系の解像度を向上させる必要性が恒久的に存在する。このような解像度向上の必要性は、明らかに、光学系の開口数（NA）増大及び結像精度増大の必要性を押し上げる。

## 【0004】

解像度の向上を達成するための1つのアプローチは、露光プロセスに使用される光の波長を低減することである。近年、極端紫外（EUV）範囲の光、典型的に5 nmから20 nmの範囲の波長、多くの場合約13 nmの波長の光を使用するアプローチが採られている。このEUV範囲においては、一般的な屈折性光学機器をもはや使用不可能である。これは、このEUV範囲では、屈折光学素子に一般的に使用される材料が、高品質の露光結果を得るには高すぎる吸収度を示す、という事実による。従ってEUV範囲では、ミラー等のような反射素子を備える反射系が露光プロセスに使用され、マスク上に形成されたパターンの像を、例えばウエハである基板上へ転写する。

30

## 【0005】

EUV範囲において、高開口数（例えば $NA > 0.4$ 乃至 $0.5$ ）の反射系使用へ移行することは、光学結像装置の設計にかなりの難題をもたらす。

## 【0006】

重大な精度要件の1つは、基板上の像の位置の精度である。これは、視線（Line of sight）精度、とも称される。視線精度は、典型的に開口数の略逆数に比例する。従って視線精度は、開口数 $NA = 0.45$ の光学結像装置の方が、開口数 $NA = 0.33$ の光学結像装置の視線精度よりも1.4倍小さい。典型的に、視線精度は開口数 $NA = 0.45$ の場合、 $0.5$  nmを下回る範囲にある。露光プロセスにおいてダブルパターンングも又許容される場合、精度は典型的に、更に1.4倍低減される必要があるであろう。従ってこの場合、視線精度は、 $0.3$  nmさえ下回る範囲であろう。

40

## 【0007】

上述したことは、とりわけ露光プロセスに関与する構成部品の間相対位置に関して、非常に厳しい要件をもたらす。さらに、高品質の半導体デバイスを確実に得るためには、高度の結像精度を示す光学系を設けさえすればよいというわけではない。そうした高度の

50

精度を、露光プロセス全体において及び、系の寿命に亘って維持することも又必要である。その結果として、例えば露光プロセスにおいて協働する光学結像装置構成部品、即ち、マスク、光学素子及びウエハは、前述の光学結像装置構成部品の間の所定の空間的関係を維持し、かつ高品質の露光プロセスを提供するために、明確に定義された方法で支持されなければならない。

#### 【 0 0 0 8 】

導入された振動の影響下、とりわけ装置を支持する接地構造、及び / 又は（例えば移動する構成部品、乱流等である）加速質量のような振動外乱の内部源を介して導入された振動の影響下でも、並びに熱的に誘導された位置変化の影響下でも、全露光プロセスを通じて光学結像装置の構成部品の間の所定の空間的関係を維持するために、光学結像装置の特定の構成部品の間の空間的関係を少なくとも断続的に捕捉し、及び光学結像装置の構成部品のうちの少なくとも1つの構成部品の位置を、この捕捉プロセスの結果に応じて調整する必要がある。

10

#### 【 0 0 0 9 】

ほとんどの従来システムでは、露光プロセスにおいて協働する構成部品の間の空間的関係を捕捉するこのプロセスは、結像装置の能動的調整部分の動きを容易に同期可能とするために、光学投影系及び基板系のための中央支持構造を共通参照として使用するメトロロジ系を介して実行される。

#### 【 0 0 1 0 】

一方で、開口数の増加は、典型的に、光学素子の光学接地面積とも称される、使用される光学素子のサイズの増大をもたらす。使用される光学素子の光学接地面積の増大は、光学素子の動的特性及び上述された調整を達成するために使用される制御系に、悪影響を及ぼす。さらに、光学接地面積の増大により、典型的に、光線入射角がより大きくなる。しかしながら、そうした増大された光線入射角では、光学素子の反射面を生成するために典型的に使用される多層コーティングの透過率が大幅に低減される。これが、不所望な光パワーの損失及び吸収による光学素子の加熱の増加につながることは明白である。その結果、商業的に容認可能なスケールでそうした結像を可能にするためには、更に大きな光学素子でさえ使用される必要がある。

20

#### 【 0 0 1 1 】

こうした状況のために光学結像装置は、1 m × 1 mまでの光学接地面積を有する比較的大きな光学素子を備えることになる。また光学素子は、60 mm未満までの範囲の相互間隔を有し、互いに非常に近接して配置される。典型的に、非常に低い歪みを要求する高開口数NAを有するそうしたシステムでは、光路長は2 m超に達する。一方、像シフト対物体は、50 cm以上に達する。これらのコアとなる数字は、本質的に、光学素子のための光学素子支持構造並びにメトロロジ系のためのメトロロジ支持構造のような、支持構造の全体的なサイズを決定する。典型的に、これらの支持構造の全体的な寸法は、およそ2 m × 1.2 m × 1.5 mである。

30

#### 【 0 0 1 2 】

上記の状況から生じる1つの問題は、そうした大きな構造が一般に、剛性が低いことである。例えば、円形平面平行プレートの、その平面に垂直な最大変形  $m_{ax}$  は、以下の数式から明らかになる。

40

#### 【 数 1 】

$$\omega_{max} = \frac{3}{16} \cdot \frac{\rho \cdot g}{E} \cdot \frac{a^4}{h^2} \cdot (1-\nu) \cdot (5+\nu) \quad (1)$$

（ a : プレートの半径、 h : プレートの中心厚、  $\nu$  : ポアソン数、  $\rho$  : 密度、 E : 弾性率、及び g : 平面に垂直な加速度）即ち、最大変形  $m_{ax}$  を一定に保つ（即ち剛性の損失を補償する）ために、プレートの直径（ a ）を2ファクタだけ増加させるには、中心厚（ h ）を4ファクタだけ増加させる必要がある。明らかに、そうしたプレートの質量は、プ

50



レートの厚さに比例する。これは、動的な問題を悪化させる。

【0013】

そうした剛性の低い構造は、調整制御性能を更に制限するのみならず、残留低周波振動外乱により発生する各構造の準静的変形に起因する残留誤差の原因ともなる。そうした残留低周波振動外乱は、各支持構造を振動絶縁状態で支持している事実にもかかわらず、依然として存在しうる。従って、そうした低周波振動外乱の悪影響が更に顕著になる。

【0014】

さらに、上述された構造スペースの制限並びに光学システムの制限のために、そうした大きな構成部品の統合は、簡単ではない。

【0015】

そうした問題に取り組むアプローチは、国際公開第2012/013559号（Hembacher）から既知であり、その全開示は、参照により本明細書に組み込まれる。この文献によれば、光学素子に作用する加速度が光学素子において測定される。また、測定された加速度が光学素子の能動変形デバイスの制御に使用され、加速に起因する光学素子の変形に反作用する。

【0016】

しかしながら、この解決策には、能動変形デバイスのために追加的な構造スペースが要求されるという欠点がある。大きくかつ重い光学素子は、そうした外乱に特に影響される。そのため能動変形デバイスは、典型的に、そうした大きくかつ重い光学素子の領域に存在できない。さらに、そうした大きくかつ重い光学素子は高い慣性を示すため、そうした外乱に対して十分に迅速に反応することは容易でない。または、十分に強力なアクチュエータのみによって十分に迅速な反応が達成されうる。そのため、再度、熱的問題が増加し並びに構造スペースの問題が悪化することになる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0017】

【特許文献1】国際公開第2012/013559号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0018】

従って本発明の課題は、少なくともある程度上記の欠点を克服し、露光プロセスに使用される光学結像装置において、良好かつ長期間信頼可能な結像特性を提供することである。

【0019】

本発明の更なる課題は、露光プロセスに使用される光学結像装置の結像精度を少なくとも維持しながら、光学結像装置のために必要な労力を低減することである。

【0020】

本発明の更なる課題は、光学結像装置の光学系に導入された残留低周波振動外乱の、結像品質に対する悪影響を低減することである。

【課題を解決するための手段】

【0021】

これらの課題は、本発明による一態様によれば、以下の技術的教示に基づいて達成される。この技術的教示は、投影系における（典型的には、重要な）第1光学素子に導入された機械的外乱を計測し、得られた外乱情報を使用して、投影系における異なる第2光学素子に対する結像誤差補正動作を制御する、というものである。これにより、光学結像装置のために必要な労力を全体的に低減し、一方で、特に残留低周波振動外乱の存在下でも、光学結像装置の結像精度を少なくとも維持できる。

【0022】

第1光学素子とは異なる第2光学素子に作用することには、典型的に重く及び／又は大きい（また従って動的により重要な）第1光学素子よりも、より容易にアクセス可能であ

10

20

30

40

50

り及び／又は構造スペースの制限がより少ない位置で、（少なくとも部分的な）補正を達成可能である、という利点がある。さらに第2光学素子は、より小さく及び／又はより軽い素子とすることができる。そのため、適切かつ十分に迅速な作動を達成する際に発生する問題が低減される。

#### 【0023】

機械的外乱は、典型的に、実行される特定の結像プロセスにおける結像品質に関連する空間における全自由度（DOF：Degrees of Freedom）（つまり、少なくとも1つ以上の自由度、典型的には全6つの自由度）で決定されることに、留意すべきである。次に、第2光学素子の作動は、典型的に、捕捉された外乱に応じて実行されなければならない、これらに関連する全自由度において適切な補正又は補償を達成する。

10

#### 【0024】

さらに、更なる態様のもとで、（振動のような）機械的外乱等の第1光学素子への導入を回避する費用が全体的に低減される。そのため、第1光学素子のための全体的な支持が助長される。

#### 【0025】

第2光学素子の作動の制御も、プロアクティブに実行できると理解されよう。捕捉された外乱は次に、例えば、この外乱に起因する第1光学素子の反応の予測を生成するために、使用することができる。予測を、次に、第2光学素子における外乱に対する適切な反作用を開始するために使用できる。

#### 【0026】

20

そうした第2光学素子のプロアクティブな制御は、光学結像装置の関連部分及び／又は特性の、適切な数値的及び／又は経験的に生成されたモデルを使用することで、実現できる。そうしたモデルが、捕捉された外乱に関する各情報の入力に応答して、即座に、第2光学素子の制御のための適切な制御パラメータをもたらすことができる、と理解されよう。外乱は、各メトロロジー支持下部構造の状態に影響し、第2光学素子に対する適切な動作によって、少なくとも部分的に反作用を受けうる任意の種類としてよい、と更に理解されよう。典型的に、そうした外乱は振動外乱である。しかしながら、例えば熱攪乱のような他の外乱も、この点において関連性を有することができる。

#### 【0027】

従って、本発明の第1態様によれば、光学投影系と、支持構造系と、制御装置とを備える光学結像装置が提供される。光学投影系が光学素子群を備える。光学素子群が、支持構造系によって支持され、露光プロセスにおいて露光光を使用して露光経路に沿って、マスクのパターンの像を基板上に転写するよう構成される。光学素子群は、第1光学素子と、第2光学素子と、を備える。また制御装置が、センサデバイスと、能動デバイスと、を備える。センサデバイスが、機能的に第1光学素子に関連付けられ、第1光学素子に作用する機械的外乱を、全6自由度までの少なくとも1つの自由度で表す機械的外乱情報を捕捉するよう構成される。制御装置が、能動デバイスを機械的外乱情報に応じて制御するよう構成される。そのため、能動デバイスが光学素子のうちの1つの光学素子に作用し、第1光学素子に作用する機械的外乱に起因する光学結像装置の光学結像誤差を、露光プロセスの間に少なくとも部分的に補正する。能動デバイスが、少なくとも第2光学素子に作用し、光学結像誤差を少なくとも部分的に補正する。

30

40

#### 【0028】

機械的外乱に起因する光学結像誤差を少なくとも部分的に（好適には実質的に完全に）補正するためには、1つの単一の第2光学素子に作用することで十分である、と理解されよう。しかしながら特定の実施形態では、補正を達成するために、能動デバイス113が2つ以上の第2光学素子に作用できる。

#### 【0029】

さらに、特定の実施形態では、2つ以上の第1光学素子を補正系の部分としてよい。また能動デバイスは、これら第1光学素子の結像誤差の、少なくとも部分的な補正を提供できる。ここでは、同様に、能動デバイスが、1つ以上の第2光学素子に作用し、各第1光

50

学素子に作用する各機械的外乱に起因する各結像誤差を（少なくとも部分的に）補正できる。特に、再度、1つの単一の第2光学素子が作用を受け、各結像誤差の（少なくとも部分的な）補正を達成できる。場合によっては、各第1光学素子に作用する、捕捉された各外乱から決定された制御信号の単純なオーバーレイを介して、能動デバイス113の制御を実行してもよい。

#### 【0030】

能動デバイスは、割り当てられた第1光学素子に作用するための、任意の所望される適切な方法で設計されてよい、と理解されよう。例えば、第1光学素子に作用する機械的外乱に起因する結像誤差を少なくとも部分的に補正するためには、第2光学素子上に特定の剛体運動を課すことで十分である。しかしながら、特定の実施形態では、結像誤差の適切な補正を達成するために、追加的又は代替的に、第2光学素子の光学表面において特定の变形を発生させることが必要な場合もある。第2光学素子の所望される剛体運動は、明らかに、支持構造系を介して発生される必要がある。一方、第2光学素子の光学表面の所望される变形は、支持構造系又は第2光学素子を備える光学モジュールに内部的に作用する变形デバイスの、いずれかによって発生させることができる。

10

#### 【0031】

従って、支持構造系が能動的補正に関わる特定の実施形態では、能動デバイスは、支持構造系の能動支持ユニットを備える。能動支持ユニットが、第2光学素子を支持し、（空間の全6自由度までの）少なくとも1つの自由度で第2光学素子の位置及び／又は配向及び／又は变形を調整するよう構成される。

20

#### 【0032】

追加的又は代替的に、特に、第2光学素子を備える光学モジュールに、能動デバイスが内部的に関わる更なる実施形態では、内部変形型の能動デバイスが、第2光学素子に割り当てられた能動変形デバイスを備え、少なくとも1つの自由度で第2光学素子の变形を調整するよう構成される。

#### 【0033】

上記に概説したように、第1光学素子の幾何学的状態（即ち、位置及び／又は配向及び／又は变形）に影響する、任意の所望される関連する機械的外乱を、機械的外乱として、関心のある外乱を捕捉する適切な方法を使用して、適切な位置で捕捉できる。

#### 【0034】

この目的を達成するために、好適には、センサデバイスは少なくとも1つのセンサユニットを備える。センサユニットが、好適には、適切な位置において、関心のある機械的外乱の評価を可能にする適切な信号を捕捉するよう構成される。適切なセンサ位置が、捕捉されるべき関心のある機械的外乱、並びに、センサ位置と第1光学素子との間の機械的外乱に対する伝達関数に応じて変化できる、と理解されよう。この伝達関数が外乱経路（即ち、機械的外乱がセンサ位置から第1光学素子までとる経路）に沿って十分に良好に既知であるとする、センサ位置と第1光学素子との間で、（外乱経路に沿った）更により長い距離でも許容可能である。

30

#### 【0035】

特定の実施形態では、少なくとも1つのセンサユニットは、第1光学素子を備える光学素子ユニットに機械的に接続される。さらに、特定の実施形態では、少なくとも1つのセンサユニットは、第1光学素子自体に機械的に接続される。そうした解決策により、第1光学素子に到達し、第1光学素子に作用する機械的外乱を、特に正確かつ簡単に決定できる。

40

#### 【0036】

特定の実施形態では、少なくとも1つのセンサユニットは、光学結像装置構成部品、特に支持構造系の支持構造構成部品に、センサ位置、特に第1光学素子の近傍に位置するセンサ位置で、機械的に接続される。上述のように、この場合も同様に、第1光学素子に到達し、第1光学素子に作用する機械的外乱を、正確かつ簡単に決定できる。

#### 【0037】

50

上述のように、第1光学素子の幾何学的状態（即ち、位置及び／又は配向及び／又は変形）に影響する、任意の所望される関連する機械的外乱を、機械的外乱として捕捉できる。特定の実施形態では、機械的外乱の特に簡単で正確な評価は、少なくとも1つのセンサユニットが、加速情報を機械的外乱情報MDIとして、全6自由度までの少なくとも1つの自由度で捕捉するよう構成されることで達成される。さらに、加速度測定に依存するそうした解決策には、機械的外乱の結果である任意の光波面収差の（典型的に複雑で費用のかかる）捕捉、を伴わないという利点を有する。従って、何より、光学結像誤差の補正を、実際の露光プロセス（即ち、基板上への像の実際の転写）の間に及びそれと平行して、行なうことができる。

【0038】

10

補正系の効率は、何より、補正制御系の反応速度（即ち、機械的外乱の捕捉から第2光学素子に適切な動作を達成するまでの反応時間）、並びに機械的外乱の第1光学素子に向かうランタイム、及び第1光学素子の機械的外乱に対する感度、に依拠する。特定の実施形態では、機械的外乱が捕捉される位置は、これらのパラメータに応じて選択され、適切で適時な補正を達成する。

【0039】

より正確には、これらのケースのいくつかにおいて、機械的外乱が最も迅速に第1光学素子に向かって伝搬する外乱経路が存在する。センサ位置は外乱経路上にある。また機械的外乱が、外乱経路に沿って、センサ位置から第1光学素子への外乱ランタイムを有する。制御装置は、機械的外乱情報を捕捉してから少なくとも第2光学素子に作用して、結像誤差を少なくとも部分的に補正するまでの制御反応時間を有する。センサ位置が、外乱経路に沿って、光学素子からのセンサ位置距離に位置する。また、センサ位置距離が、制御反応時間が外乱ランタイム以下になるように選択される。

20

【0040】

補正の制御は、基本的に、機械的外乱に起因する結像誤差を、適時かつ適性に補正する、任意の所望される適切な方法で提供されうる、と理解されよう。特定の実施形態では、制御装置は、制御情報を記憶するメモリを備える。制御情報が、機械的外乱情報に応じて能動デバイスに提供されるべき少なくとも1つの制御信号を表し、機械的外乱に起因する光学結像誤差を少なくとも部分的に補正する。制御装置の制御ユニットは、光学結像誤差を少なくとも部分的に補正するために、機械的外乱情報及び制御情報を使用して、少なくとも1つの補正制御信号を生成し、補正制御信号を能動デバイスに転送するよう構成される。

30

【0041】

制御情報は、任意の適切な方法で得られたものとすることができる、と理解されよう。より正確には、例えば制御情報は、光学結像装置の関連部分の適切なシミュレーションを使用して従前に得られたものとすることができる。追加的又は代替的に、制御情報は、経験的方法を使用して（例えば、光学結像装置自体の関連部分のテストから、又は同等の光学結像装置のテストから）従前に得られたものとすることができる。

【0042】

40

シミュレーション結果に依拠する特定の実施形態では、制御情報は、従前に確立された機械的数値モデル及び従前に確立された光学モデルを含むことができる。機械的数値モデルが、光学結像装置のモデル化部分の数値モデルである。モデル化部分が、少なくとも、第1光学素子、機械的外乱情報が捕捉される捕捉位置、及び機械的外乱が沿って、捕捉位置から第1光学素子に伝搬する外乱経路を含む。機械的数値モデルが、捕捉位置において支配的な機械的外乱に反応する第1光学素子の、位置及び／又は配向及び／又は幾何学的形状における、幾何学的変化を表す。光学モデルが、幾何学的変化に応じた結像誤差の結像誤差変化を表す。制御装置が、結像誤差変化に応じて補正制御信号を生成するよう構成される。この目的を達成するために、制御装置が、特に、従前に確立されメモリに記憶された補正制御信号情報を使用する。補正制御信号情報は、結像誤差変化に応じた補正制

50

御信号を表す。

【 0 0 4 3 】

制御装置は、組み合わせモデルを使用できる、と理解されよう。組み合わせモデルは、機械的数値モデル、光学モデル、及び最終的には補正制御信号情報の適切な数値組み合わせを含む。最終的には、組み合わせモデル情報は即座に、機械的外乱情報に応じた補正制御信号をもたらす。

【 0 0 4 4 】

特定のかかなり簡単な実施形態では、制御装置を、補正制御信号を生成するために、捕捉位置で捕捉される実際の機械的外乱に反応する第 1 光学素子の実際の幾何学的変化を、機械的数値モデルを使用して予測するよう構成できる。さらに制御装置は、次いで、予測された実際の幾何学的変化に応じた結像誤差の実際の結像誤差変化を、光学モデルを使用して予測するよう構成できる。最後に制御装置は、予測された実際の結像誤差変化に応じた補正制御信号情報を使用して、実際の補正制御信号を生成するよう構成できる。

10

【 0 0 4 5 】

制御情報は、シミュレーション成分及び / 又は経験成分を含む任意の望ましい適切な方法で確立されたものとすることができる、と理解されよう。例えば、制御情報は、光学結像装置のモデル化部分の数値モデルの形態であるシミュレーション成分を使用して確立されたものとすることができる。モデル化部分は、少なくとも、第 1 光学素子、機械的外乱情報が捕捉される捕捉位置、及び機械的外乱が沿って、捕捉位置から第 1 光学素子に伝搬する外乱経路を含む。機械的数値モデルは、捕捉位置における機械的外乱に反応する第 1 光学素子の、位置及び / 又は配向及び / 又は幾何学的形状における、幾何学的変化を表す。

20

【 0 0 4 6 】

追加的又は代替的に、制御情報は、機械的外乱に反応する第 1 光学素子の幾何学的変化に応じた結像誤差の結像誤差変化を表す光学モデルの形態であるシミュレーション成分を使用して確立されたものとすることができる。

【 0 0 4 7 】

追加的又は代替的に、制御情報は、第 1 光学素子の定義された機械的励起に反応する結像誤差の変化を表す、結像誤差変化情報の形態である経験成分を使用して確立されたものとすることができる。定義された機械的励起は、支持構造系の少なくとも 1 つのアクチュエータデバイスを使用して発生されたものとする。

30

【 0 0 4 8 】

機械的励起は、適切な方法で発生されたものとすることができる。例えば、機械的励起を発生させるために、第 1 光学素子を支持するアクチュエータデバイス及び / 又は支持構造系の部分を支持するアクチュエータデバイスが使用されたとすることができる。さらに、定義された機械的励起は、任意の所望される適切なタイプであってよい。例えば、定義された機械的励起を、正弦波励起とすることができる。

【 0 0 4 9 】

典型的に、大きく及び / 又は重い第 1 光学素子に対して、低周波振動に起因する残留変形は、ますます重要な役割を果たす、と理解されよう。従って、典型的に、そうした低周波数の機械的励起下での第 1 光学素子の振動挙動が、特に着目される。従って好適には、追加的又は代替的に、印加される定義された機械的励起は、0.05 Hz 乃至 1000 Hz、好適には 0.05 Hz 乃至 100 Hz、更に好適には 1 Hz 乃至 30 Hz、又更に好適には 1 Hz 乃至 5 Hz の励起周波数を有する。特定の好適な実施形態では、第 1 光学素子 106.6 は、一次曲げ共振周波数を有する。また励起周波数は、0.05 Hz から一次曲げ共振周波数の三分の二までの範囲である。

40

【 0 0 5 0 】

制御情報は、任意の適切で所望される方法で取得されてよい、と更に理解されよう。特に、適切な場合、制御情報は捕捉された機械的外乱に応じて決定されたものとすることができる。そうした場合では、機械的外乱に対して、特に簡単に迅速な反応が可能である。

50

特定の実施形態では、制御情報は、反作用を受けるべき特定の結像誤差変化に関連して、より一般的に適用可能な方法で（即ち、特定の位置における特定の機械的外乱に関係なく）確立される。これらの場合、制御情報は、結像誤差変化に応じた補正制御信号を表す、補正制御信号情報を使用して、確立されたものとして行うことができる。

【0051】

本発明は、任意の所望される支持構造系配置を備える、任意の所望される光学結像装置において使用できる、と理解されよう。上述したように、第1光学素子の重量及び/又はサイズが増加するにつれて、低周波振動は、そうした光学結像装置の結像精度について、関連問題をますます引き起こす可能性がある。特に、光学素子における（単段又は多段の）振動絶縁にもかかわらず、こうしたケースが見られる。従って本発明は、そうした振動絶縁を伴う支持構造系配置において、特に有利に使用できる。

10

【0052】

従って、好適な実施形態では、支持構造系は、基礎支持構造及び中間支持構造を備える。第1光学素子は、中間支持構造上に支持される。また中間支持構造が、振動絶縁装置を介して基礎構造上に支持される。好適には、振動絶縁装置が、10 Hz から 1 Hz まで、好適には 3 Hz から 0.5 Hz まで、更に好適には 1 Hz から 0.1 Hz までの範囲の振動絶縁共振周波数を有する。

【0053】

本発明は、任意の所望される露光光波長での、任意の所望される光学結像プロセスにおいて使用できる、と更に理解されよう。特に有利な結果は、マイクロリソグラフィにおいて達成される。従って、特定の実施形態では、光学結像装置は、UV 範囲、特に EUV 範囲の露光光波長の露光光を使用するマイクロリソグラフィで使用されるよう構成される。好適には、露光光は 5 nm から 20 nm までの範囲の露光光波長を有する。さらに、光学素子群の光学素子は、好適には、反射光学素子である。

20

【0054】

上記に概説したように、特に有利な結果は、大きく及び/又は重い光学素子において達成される。従って、好適には、第1光学素子は光学素子群の光学素子の中で、最大であり及び/又は最も重い。

【0055】

好適には、光学結像装置は、露光プロセスを実行可能とするために、更に、照明ユニット、マスクユニット、及び基板ユニットを備える。照明ユニットは、マスクユニット内に受容されたマスクを、露光光で照明するよう構成される。また、基板ユニットは、光学投影系によって転写された像を受け取るために、基板を受容するよう構成される。

30

【0056】

本発明の第2態様によれば、露光プロセスにおいて、光学結像装置の結像誤差を少なくとも部分的に補正する方法が提供される。光学結像装置が、光学投影系と、支持構造系と、制御装置と、を備える。光学投影系が、第1光学素子及び第2光学素子を含む光学素子群を備える。光学素子群が、支持構造系によって支持され、露光プロセスにおいて露光光を使用して露光経路に沿って、マスクのパターンの像を基板上に転写する。方法は、センサデバイスを機能的に第1光学素子に関連付けるステップと、第1光学素子に作用する機械的外乱を、全6自由度までの少なくとも1つの自由度で表す機械的外乱情報を捕捉するステップと、を含む。方法は、更に、能動デバイスを機械的外乱情報に応じて制御し、能動デバイスが光学素子のうちの1つの光学素子に作用し、第1光学素子に作用する機械的外乱に起因する光学結像誤差を少なくとも部分的に補正するステップを含む。この場合、能動デバイスは、少なくとも第2光学素子に作用し、光学結像誤差を少なくとも部分的に補正する。

40

【0057】

この方法を使用して、本発明による光学結像装置に関連して上記に概説した課題、変形実施形態、及び利点を、上記の記述を参照して明白であるのと同じ範囲で達成できる。

【0058】

50

さらに、本発明の第3態様によれば、光学結像方法が提供される。光学結像方法は、光学結像装置で露光光を使用する露光プロセスにおいて、パターンの像を基板上に転写するステップを含む。また、露光プロセスの間、光学結像装置の結像誤差を、本発明による方法を使用して、少なくとも部分的に補正するステップを含む。

#### 【0059】

同様にこの方法を使用して、本発明による光学結像装置に関連して上記に概説した課題、変形実施形態、及び利点を、上記の記述を参照して明白であるのと同じ範囲で達成できる。

#### 【0060】

本発明の更なる態様及び実施形態は、従属請求項、及び添付の図面を参照する好適な実施形態に関する以下の記載から明らかとなる。請求項に明示的に記載されているか否かにかかわらず、開示された特徴の全ての組合せは、本発明の範囲内である。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0061】

【図1】本発明による方法の好適な実施形態を実行することのできる、本発明による光学結像装置の好適な実施形態の概略図である。

【図2】図1の光学結像装置の部分の概略図である。

【図3】本発明による光学結像方法の、好適な実施形態のブロック図である。この光学結像方法は、本発明による光学結像装置の結像誤差を補正する方法の好適な実施形態を含み、図1の光学結像装置により実行されうる。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0062】

以下に、本発明による光学結像装置101の好適な実施形態を、図1乃至図3を参照して説明する。光学結像装置101により、本発明による方法の好適な実施形態を実行できる。以下の説明の理解を容易にするために、 $x$   $y$   $z$  座標系が図の幾つかに導入される。 $z$  方向は垂直方向（即ち重力方向）を示す。しかしながら、光学結像装置101の構成部品に対して、他の任意の空間的配向が選択されてもよい、と理解されよう。

#### 【0063】

図1は、EUV範囲において波長13nmで作動する光学露光装置101の形態である光学結像装置の、正確なスケールでない高度に概略化された図である。光学露光装置101は、（マスクユニット103のマスクテーブル103.2上に位置する）マスク103.1上に形成されたパターンの像を、（基板ユニット104の基板テーブル104.2上に位置する）基板104.1上へ転写するよう適合された光学投影ユニット102を備える。このために光学露光装置101は、適切な光ガイド系105.2を介して（主光線105.1で示された）露光光で反射マスク103.1を照明する、照明系105を備える。光学投影ユニット102は、マスク103.1から反射された光を受光し、マスク103.1上に形成されたパターンの像を、例えばウエハ等である基板104.1上へ、露光経路に沿って投影する。

#### 【0064】

このために光学投影ユニット102は、光学素子ユニット106.1乃至106.6の光学素子ユニット群106を保持する。この光学素子ユニット群106は、支持構造系の部分を形成する光学素子支持構造102.1内に保持される。光学素子支持構造102.1は、光学投影ユニット102のハウジング構造の形態をとることができる。このハウジング構造は、以下において、投影オプティクスボックス構造（POB：Projection Optics Box structure）102.1とも称される。しかしながらこの光学素子支持構造は、光学素子ユニット群106を完全に又は均一に（光及び/又は流体）密封する必要性が、必ずしもないことが理解されよう。むしろ、図示の例の場合のように、部分的に開放構造として形成されてもよい。

#### 【0065】

本発明の意味において、光学素子ユニットは、ミラーのような光学素子からのみ構成す

10

20

30

40

50

ることができる、と理解されよう。しかしながら、そうした光学素子ユニットは、そうした光学素子を保持するホルダのような、更なる構成部品を備えることもできる。

【0066】

各ミラー106.1(M1)乃至106.6(M6)は、付随する支持デバイス108.1乃至108.6によって、投影オプティクスボックス構造102.1上に支持される。各支持デバイス108.1乃至108.6は、能動デバイスとして形成できる。そのため、各ミラー106.1乃至106.6を、制御装置109の制御ユニット109.1の制御下で、制御装置109のセンサデバイス110を介して捕捉された状態情報に応じて、定義された制御帯域幅で能動的に支持できる。

【0067】

投影オプティクスボックス構造102.1は、振動絶縁状態で耐荷構造107上に支持される。耐荷構造107は、地面又は基礎構造111上に支持される。投影オプティクスボックス構造102.1及び耐荷構造107は、共に中間支持構造112を形成する。耐荷構造107及び基礎構造111の両方ともが、支持構造系の部分を形成する。

【0068】

耐荷構造107は、0.05Hzから8.0Hzまで、好適には0.1Hzから1.0Hzまで、更に好適には0.2Hzから0.6Hzまでの範囲の振動絶縁共振周波数に対して振動絶縁状態で、地面又は基礎構造111上に支持される。さらに、典型的に、減衰比が、5%から60%まで、好適には10%から30%まで、更に好適には20%から25%までの範囲から選択される。本例において、0.25Hz乃至2Hzの振動絶縁共振周波数が15%乃至35%の減衰比で、耐荷構造107を振動絶縁状態で支持するために選択される。

【0069】

地面又は基礎構造111は、基板テーブル支持デバイス104.3を介するマスクテーブル支持デバイス103.3及び基板テーブル104.2を介して、(振動絶縁状態で)マスクテーブル103.2をも支持する。しかしながら、本発明の他の実施形態において、耐荷構造107が、(好適には振動絶縁状態で)マスクテーブル103.2及び/又は基板テーブル104.2をも支持できる、と理解されよう。

【0070】

投影オプティクスボックス構造102.1は、複数の振動絶縁装置及び少なくとも1つの中間支持構造を介してカスケード式に支持され、良好に振動絶縁を達成する、と理解されよう。一般にこれらの振動絶縁装置は、広い周波数範囲に亘って良好に振動を絶縁するために、異なる分離周波数を有することができる。

【0071】

光学素子ユニット群106は、合計6つの光学素子ユニット、即ち光学素子ユニット106.1、光学素子ユニット106.2、光学素子ユニット106.3、光学素子ユニット106.4、光学素子ユニット106.5、及び光学素子ユニット106.6を備える。本実施形態では、各光学素子ユニット106.1乃至106.6は、以下でミラーM1乃至M6とも称されるミラー形態の光学素子からなる。

【0072】

しかしながら、本発明の他の実施形態において、(上述のように)各光学素子ユニットは(光学素子自体以外の)更なる構成部品、例えば開口絞り、ホルダ、又はリテーナ等を備えてもよい。これらは、光学素子を保持し、かつ最終的には、光学素子ユニットを支持構造に接続する支持ユニットのためのインタフェースを形成する。

【0073】

本発明の他の実施形態において、別の個数の光学素子ユニットも使用されてよい、と更に理解されよう。好適には、4乃至8個の光学素子ユニットが設けられる。

【0074】

マスク103.1上に形成されたパターンの像は、通常サイズが縮小され、基板104.1の複数の目標領域に転写される。マスク103.1上に形成されたパターンの像は、

10

20

30

40

50



光学露光装置 101 の設計に応じて、2つの異なる方法で、基板 104 . 上の各目標領域に転写することができる。光学露光装置 101 が、いわゆるウェハステップ装置として設計されていれば、マスク 103 . 1 上に形成されたパターン全体を照射することにより、1つのステップで、パターンの像全体が基板 104 . 1 上の各目標領域に転写される。光学露光装置 101 が、いわゆるステップアンドスキャン装置として設計されていれば、マスクテーブル 103 . 2 を、及び従ってマスク 103 . 1 上に形成されたパターンを投影ビームの下で漸進的にスキャンし、一方で、基板テーブル 104 . 2、及び従って基板 104 . 1 の対応するスキャン移動を同時に行なうことによって、パターンの像が基板 104 . 1 上の各目標領域に転写される。

#### 【0075】

両方の場合において、光学結像誤差 I E ( imaging Error ) の低い高品質の光学結像結果を得るためには、露光プロセスに関与する構成部品間の所与の空間的關係（即ち、光学素子ユニット群 106 の光学素子、つまり、ミラー 106 . 1 乃至 106 . 6 の、相互空間的關係、並びにマスク 103 . 1 及び基板 104 . 1 に対する空間的關係）が、既定の限界内に維持されなければならない。

#### 【0076】

本例において、光学素子ユニット 106 . 6 のミラー 106 . 6 ( M 6 ) は、光学素子ユニット群 106 の第 1 光学素子を形成する、大きくかつ重い構成部品である。一方、他の光学素子ユニット 106 . 1 乃至 106 . 5 のうちの少なくとも 1 つは、光学素子ユニット群の第 2 光学素子を形成する。本例において、ミラー 106 . 2 ( M 2 ) がそうした第 2 光学素子を形成する。特定の実施形態では、光学素子 106 . 6 が、特に、光学結像装置 101 の最大及び / 又は最重量光学素子となりうる。

#### 【0077】

国際公開第 2013 / 004403 号に開示されるように（その全開示は、参照により本命最初に組み込まれる）、第 1 光学素子ユニット 106 . 6 及び第 1 光学素子 106 . 6 は、各々、低い第 1 制御帯域幅で能動的に支持されることができる。一方、第 2 光学素子 106 . 2 を含む他の光学素子ユニット 106 . 1 乃至 106 . 5 は、第 2 制御帯域幅で能動的に支持され、第 2 光学素子ユニット 106 . 1 乃至 106 . 5 の各々の第 1 光学素子ユニット 106 . 6 に対する所与の空間的關係を、実質的に維持する。

#### 【0078】

本例において、同様の能動的サポートコンセプトが、マスクテーブル支持デバイス 103 . 3 及び基板テーブル支持デバイス 104 . 3 のために選択される。両方共が、各々第 3 制御帯域幅及び第 4 制御帯域幅で能動的に支持され、マスクテーブル 103 . 2 及び基板テーブル 104 . 2 の各々の第 1 光学素子ユニット 106 . 6 に対する所与の空間的關係を、実質的に維持する。しかしながら、本発明の他の実施形態では、マスクテーブル及び / 又は基板テーブルに対して、別のサポートコンセプトを選択してもよい、と理解されよう。

#### 【0079】

上記に概説したように、第 1 光学素子 106 . 6 の場合には、大きくかつ重い光学素子が、調整制御性能の制限を悪化させるのみではない。そうした大きくかつ重い光学素子 106 . 6 は、その剛性が（より小さくかつ軽い光学素子と比較して）低下しているために、光学結像プロセスにおいて光学結像誤差 I E M D ( Optical Imaging Errors ) を引き起こす傾向もある。これは、残留低周波振動外乱により発生する準静的変形に起因する。残留低周波振動外乱の形態であるそうした機械的外乱は、各支持構造 102 . 1、107、111 が振動絶縁状態で支持を提供するという事実にもかかわらず、依然として存在する。従って、（光学性能上の理由のために）第 1 光学素子 106 . 6 が重いほど及び / 又は大きいほど、そうした低周波振動外乱の悪影響が更に顕著になる。

#### 【0080】

低周波振動に起因するそうした残留準静的変形を低減するための直接的アプローチは、光学素子 106 . 6 の剛性向上を試みることであろう。上述したように、このために、典型的には、光学素子 106 . 6 のサイズ及び重量増加が要求される。これは、光学投影ユ

10

20

30

40

50

ニット 102 内の、光学素子 106.6 の動的特性並びに構造スペースの制限の点で、望ましくない。

【0081】

これに対して、本発明は、第 1 光学素子 106.6 に導入された機械的外乱 MD (Mechanical Disturbance) を表す機械的外乱情報 MDI (Mechanical Disturbance Information) を得て、また得られた機械的外乱情報 MDI を使用して、第 2 光学素子 106.2 に対する結像誤差補正動作 IECA (Imaging Error Correction Action) を制御することで、これらの問題に取り組むものである。この結像誤差補正動作 IECA は、第 1 光学素子 106.6 に作用する機械的外乱 MD に起因する光学結像誤差 IEMD を、少なくとも部分的に補正する。

10

【0082】

(第 1 光学素子 106.6 とは異なる) 第 2 光学素子 106.2 に作用することには、第 1 光学素子 106.6 の機械的外乱 MD に対する反応に起因する光学結像誤差 IEMD の(少なくとも部分的な)補正を、第 2 光学素子 106.2 の位置で達成可能である、という利点がある。第 2 光学素子 106.2 は、重くかつ大きい(また従って動的により重要な)第 1 光学素子 106.6 よりも、より容易にアクセス可能であり、構造スペースの制限がより少ない。さらに第 2 光学素子 106.2 は、(第 1 光学素子 106.6 に比べて)より良好な動的特性を有する、より小さくかつより軽い素子である。そのため、適切かつ十分に迅速な作動及び結像誤差の補正のそれぞれを達成する際に発生する問題が低減される。

20

【0083】

第 2 光学素子 106.2 での能動的な結像誤差補正を使用する、そうしたアプローチにより、第 1 光学素子 106.6 を支持するための要件も又緩和される、と更に理解されよう。これは、第 1 光学素子 106.6 に導入される(振動のような)機械的外乱 MD 等を避けるための費用が、全体的に、より少なくて済む、という事実に起因する。

【0084】

機械的外乱情報 MDI を得るために、センサデバイス 110 はセンサユニット 110.1 を備える。センサユニット 110.1 は、機能的に第 1 光学素子 106.6 (M6) に関連付けられ、機械的外乱情報 MDI を捕捉するよう構成される。機械的外乱情報 MDI は、第 1 光学素子 106.6 に作用する機械的外乱 MD を、全 6 自由度までの少なくとも 1 つの自由度で表す。

30

【0085】

機械的外乱 MD は、典型的に、光学結像装置 101 により実行される特定の結像プロセスにおける結像品質に関連する空間における全自由度(DOF: Degree of Freedom)(つまり、少なくとも 1 つ以上の自由度、典型的には全 6 つの自由度)で決定されることに、留意すべきである。次に、第 2 光学素子 106.2 の作動は、典型的に、捕捉された機械的外乱情報 MDI に応じて実行されなければならない、機械的外乱 MD に起因する光学結像誤差 IEMD を、これら関連する全自由度において適切に補正又は補償する。

【0086】

第 2 光学素子 106.2 の適切な作動を達成するために、第 2 光学素子 106.2 の能動支持デバイス 108.2 は、制御装置 109 の能動デバイス 113 の部分を形成する。第 1 光学素子 106.6 に作用する機械的外乱 MD に起因する光学結像誤差 IEMD を、少なくとも部分的に(好適には実質的に完全に)補正するためには、もっぱら第 2 光学素子 106.2 に作用することで十分である、と理解されよう。

40

【0087】

しかしながら、特定の実施形態では、能動デバイス 113 が、光学素子ユニットのために、1 つ以上の更なる能動支持デバイス(例えば、光学素子ユニット 106.1 の能動支持デバイス 108.1)を備えてもよい。この場合、適切な補正を達成するために、能動デバイス 113 が 2 つ以上の第 2 光学素子ユニット(例えば光学素子ユニット 106.1 及び 106.2)に作用できる。

50

## 【 0 0 8 8 】

さらに、特定の実施形態では、第 1 光学素子 1 0 6 . 6 に加えて、更なる光学素子（例えば光学素子 1 0 6 . 4 ）が、補正系の部分である更なる第 1 光学素子を形成する。ここでは、これらの第 1 光学素子（例えば 1 0 6 . 6 、 1 0 6 . 4 ）に対する機械的外乱 M D の衝撃に起因する結像誤差 I E M D が、能動デバイス 1 1 3 によって、少なくとも部分的に補正される。

## 【 0 0 8 9 】

ここでは、同様に、能動デバイス 1 1 3 が、1 つ以上の第 2 光学素子（例えば 1 0 6 . 2 、 1 0 6 . 1 ）に作用し、各第 1 光学素子（例えば 1 0 6 . 6 、 1 0 6 . 4 ）に作用する各機械的外乱 M D に起因する各結像誤差 I E M D を、少なくとも部分的に補正できる。特に、再度、1 つの単一の第 2 光学素子（例えば 1 0 6 . 2 ）が作用を受け、各結像誤差 I E M D の対応する補正を達成できる。場合によっては、各第 1 光学素子（例えば 1 0 6 . 6 、 1 0 6 . 4 ）に作用する、捕捉された各外乱 M D から決定された補正制御信号 C C S (Correction Control Signals) の単純なオーバーレイを介して、能動デバイス 1 1 3 の制御を実行してもよい。

## 【 0 0 9 0 】

本例において、第 1 光学素子 1 0 6 . 6 に作用する機械的外乱に起因する結像誤差を、少なくとも部分的に補正するためには、第 2 光学素子 1 0 6 . 2 上に特定の剛体運動 R B M (Rigid Body Movements) を課すことで十分である。しかしながら、特定の実施形態では、結像誤差 I E M D の適切な補正を達成するために、第 2 光学素子 1 0 6 . 2 の光学表面において特定の変形 O S D (Optical Surface Deformation) を発生させることが必要な場合もある。

## 【 0 0 9 1 】

本例において、支持構造系は、支持構造系の能動支持ユニット 1 0 8 . 2 を介して、結像誤差 I E M D の能動的補正に関わる。この目的のために、能動デバイス 1 1 3 の能動支持デバイス 1 0 8 . 2 は、（空間の全 6 自由度までの）少なくとも 1 つの自由度で第 2 光学素子 1 0 6 . 2 の所望の剛体運動 R B M を発生させる（即ち、位置及び / 又は配向を調整する）、並びに、第 2 光学素子 1 0 6 . 2 の光学表面の所望の変形 O S D を発生させる（即ち、変形を調整する）、よう構成される。

## 【 0 0 9 2 】

更なる実施形態では、追加的又は代替的に、第 2 光学素子 1 0 6 . 2 を有する光学モジュールに対して内部的に作用する（図 2 において破線の輪郭 1 1 4 で示される）変形デバイスを備えることができる。第 2 光学素子 1 0 6 . 2 に割り当てられた、そうした内部変形デバイス 1 1 4 のみを備えることでさえ十分である、と理解されよう。これは、光学結像誤差 I E M D が、もっぱら、第 2 光学素子 1 0 6 . 2 の光学表面に、（空間の全 6 自由度までの）少なくとも 1 つの自由度で適切な変形 O S D を導入することで補正される場合に適用される。

## 【 0 0 9 3 】

上記に概説したように、第 1 光学素子 1 0 6 . 2 の幾何学的状態（即ち、位置及び / 又は配向及び / 又は変形）に影響する、任意の所望される関連する機械的外乱を、機械的外乱 M D として、関心のある外乱を捕捉する適切な方法を使用して、適切な位置 S L (Sensor Location) で捕捉できる。

## 【 0 0 9 4 】

本例において、センサデバイス 1 1 0 のセンサユニット 1 1 0 . 1 は、適切な位置 S L 1 において、関心のある機械的外乱 M D の評価を可能にする適切な信号を捕捉するよう構成される。適切なセンサ位置 S L 1 が、捕捉されるべき関心のある機械的外乱 M D 、並びにセンサ位置 S L 1 と第 1 光学素子 1 0 6 . 6 (M 6) との間の機械的外乱 M D に対する伝達関数 T F (Transmission Function) に応じて変化できる、と理解されよう。この伝達関数 T F が外乱経路（即ち、機械的外乱 M D がセンサ位置 S L 1 から第 1 光学素子 1 0 6 . 6 の関連部分、典型的には第 1 光学素子 1 0 6 . 6 の光学表面、までとる経路）に沿

って十分に良好に既知であるとする、センサ位置  $SL1$  と第 1 光学素子 106.6 との間で、(外乱経路に沿った) 更により長い距離  $D$  (Distance) でも、許容可能である。

#### 【0095】

本例において、センサユニット 110.1 は、第 1 光学素子 106.6 自体により形成された光学素子に機械的に接続される。そうした解決策により、第 1 光学素子 106.6 に到達し、第 1 光学素子 106.6 に作用する機械的外乱  $MD$  を、特に正確かつ簡単に決定できる。

#### 【0096】

上述のように、第 1 光学素子 106.6 の幾何学的状態 (即ち、位置及び/又は配向及び/又は変形) に影響する、任意の所望される関連する機械的外乱を、機械的外乱  $MD$  として捕捉できる。本例において、機械的外乱  $MD$  の特に簡単で正確な評価は、センサユニット 110.1 が、加速情報  $AI$  (Acceleration Information) を機械的外乱情報  $MDI$  として、全 6 自由度までの少なくとも 1 つの自由度で捕捉するよう構成されることで達成される。

#### 【0097】

説明したように、加速度測定に依拠するそうした解決策には、露光光  $EL$  (Exposure Light) の経路に沿う、機械的外乱  $MD$  の結果である露光光の任意の光波面収差の (典型的に複雑で費用のかかる) 捕捉を伴わない、という利点を有する。従って、何より、光学結像誤差  $IEMD$  の補正を、実際の露光プロセス (即ち、マスク 103.1 から基板 104.1 上への像の実際の転写) の間に及びそれと平行して、行なうことができる。

#### 【0098】

本発明の結像誤差補正系の効率は、何より、補正制御系の反応速度  $RS$  (Reaction Speed) (即ち、機械的外乱  $MD$  の捕捉から第 2 光学素子 106.2 に適切な動作を達成するまでの反応時間)、並びに機械的外乱  $MD$  のセンサ位置  $SL$  から第 1 光学素子 106.6 に向かうランタイム  $DRT$  (Disturbance Run Time)、及び第 1 光学素子 106.6 の機械的外乱  $MD$  に対する感度、に依拠する。特定の実施形態では、機械的外乱が捕捉される位置 (即ち、センサ位置  $SL$ ) は、これらのパラメータに応じて選択され、適切で適時な補正を達成する。

#### 【0099】

より正確には、本例において、(センサユニット 110.1 に加えて又は代替的に) センサユニット 110.2 がセンサ位置  $SL2$  に備えられる。センサ位置  $SL2$  は、機械的外乱  $MD$  が沿って、センサ位置  $SL2$  から第 1 光学素子 106.6 に向かい最も早く伝搬する外乱経路  $DP$  (Disturbance Path) に沿って、第 1 光学素子 106.6 から定義されたセンサ位置距離  $SLD$  (Sensor Location Distance) に位置する。機械的外乱  $MD$  は、外乱経路  $DP$  に沿って、センサ位置  $SL2$  から第 1 光学素子 106.6 への外乱ランタイム  $DRT$  を有する。

#### 【0100】

次いで制御装置 109 は、機械的外乱情報をセンサユニット 110.2 で捕捉してから第 2 光学素子 106.2 に作用して、結像誤差  $IEMD$  を補正するまでの制御反応時間  $CRT$  (Control Reaction Time) を有する。制御装置 109 が、第 2 光学素子 106.2 において適時に適切な補正動作の発生を達成するように、光学素子からのセンサ位置距離  $SLD$  は、制御反応時間  $CRT$  が外乱ランタイム  $DRT$  以下になるように選択される。即ち以下の数式の通りである：

$$CRT \leq DRT$$

#### 【0101】

換言すると、少なくとも、機械的外乱  $MD$  が第 1 光学素子 106.6 に到達して第 1 光学素子 106.6 に影響を与えるまでの時間内で、補正動作を行なうことができる。

#### 【0102】

図 2 から分かるように、特定の実施形態では、センサユニット 110.2 は光学素子 106.6 に直結されていない。しかしながらセンサユニット 110.2 は、第 1 光学素子

10

20

30

40

50

106.6の近傍にある支持構造系の支持構造部品112に機械的に接続されている。再び、適切なセンサ位置SL2は、捕捉されるべき関心のある機械的外乱MD、並びにセンサ位置SL2と第1光学素子106.6(M6)との間の機械的外乱MDに対する伝達関数TFに応じて変化してよい。この伝達関数TFが外乱経路(即ち、機械的外乱MDがセンサ位置SL2から第1光学素子106.6の関連部分、典型的には第1光学素子106.6の光学表面までとる経路)に沿って十分に良好に既知であるとする、センサ位置SL2と第1光学素子106.6との間で、(外乱経路に沿った)更により長いセンサ位置距離SLDでも許容可能である。

#### 【0103】

特に、入ってくる機械的外乱MDに対して、正確かつ適時に反応可能である場合に、制御装置109は、第2光学素子106.2の作動をプロアクティブに制御できる、と理解されよう。

#### 【0104】

この目的を達成するために、例えば制御ユニット109.1は、捕捉された外乱情報MDIを使用して、この機械的外乱MDがひとたび第1光学素子106.6に到達した場合の結果として生じる第1光学素子106.6の反応予測を生成できる。予測を、次に、第2光学素子における機械的外乱MDの結果(即ち、光学結像誤差IEMD又は光学結像誤差の変化の夫々)に対する適切な反作用を開始するために使用できる。

#### 【0105】

本実施形態において、制御ユニット109.1は、制御情報CCI(Control Information)を記憶するメモリ109.2を備える。制御情報CCIは、機械的外乱情報MDIに応じて能動デバイスに提供されるべき少なくとも1つの制御信号CCS(Correcting Control Signal)を表し、機械的外乱MDに起因する光学結像誤差IEMDを(少なくとも部分的に)補正する。光学結像誤差IEMDを少なくとも部分的に補正するために、制御ユニット109.1は次いで、機械的外乱情報MDI及び制御情報CCIを使用して、対応する補正制御信号CCSを生成する。次いで補正制御信号CCSが、能動デバイス113、即ち、第2光学素子106.2の能動支持デバイス108.2へと送られ、対応する補正動作を第2光学素子106.2に供給する。

#### 【0106】

制御情報CCIは、例えば、光学結像装置101の関連部分の適切なシミュレーションを使用して得られたものとすることができる。追加的又は代替的に、制御情報CCIは、経験的方法を使用して(例えば、光学結像装置101自体の関連部分のテストから、又は同等の光学結像装置の関連部分のテストから)従前に得られたものとすることができる。

#### 【0107】

シミュレーション結果に依拠する特定の実施形態では、制御情報CCIは、従前に確立された機械の数値モデルMNM(Mechanical Numerical Model)及び従前に確立された光学モデルOM(Optical Model)を含むことができる。機械の数値モデルMNMが、光学結像装置101のモデル化部分の数値モデルである。モデル化部分が、第1光学素子106.6、つまりは機械的外乱情報MDIが捕捉されるセンサ位置SL(例えばSL1及び/又はSL2)である捕捉位置、及び機械的外乱MDが沿って、センサ位置SL(例えばSL1及び/又はSL2)から第1光学素子106.6に伝搬する外乱経路DPを含む。

#### 【0108】

機械の数値モデルMNMは、捕捉位置又はセンサ位置SL(例えばSL1及び/又はSL2)において支配的な機械的外乱MDに反応する第1光学素子106.6の位置及び/又は配向及び/又は幾何学的形状における、幾何学的変化GA(Geometric Alteration)を表す。換言すると、定義された機械的外乱MDを機械の数値モデルMNMに入力すると、この定義された機械的外乱MDに反応する第1光学素子106.6の幾何学的変化GAを描く定義された出力が得られる。従って、究極的には、機械の数値モデルMNMを使用

10

20

30

40

50

して、実際の機械的外乱MDに反応する第1光学素子106.6の実際の幾何学的変化GAを予測できる。

【0109】

光学モデルOMは、第1光学素子106.6の幾何学的変化GAに応じた光学結像装置101の結像誤差IEの結像誤差変化IEA(Imaging Error Alteration)を表す。換言すると、定義された幾何学的変化GAを光学モデルOMに入力すると、この定義された幾何学的変化GAに反応する光学結像装置101の結像誤差変化IEAを描く定義された出力が得られる。従って、究極的には、光学モデルOMを使用して、実際の幾何学的変化GAに反応する光学結像装置101の実際の結像誤差変化IEAを予測できる。

【0110】

従って、機械的数値モデルMNM及び続いて光学モデルOMを使用して、制御ユニット109.1は、センサ位置SLにおいて所与の機械的外乱MDに起因する結像誤差変化IEAを決定できる。

【0111】

制御ユニット109.1は、次いで、結像誤差変化IEAに応じて補正制御信号CCSを生成する。この目的を達成するために、制御装置は、従前に確立された補正制御信号情報CCSI(Correcting Control Signal Information)(例えば補正制御信号モデルCCSM(Correcting Control Signal Model))を使用する。補正制御信号情報CCSIは、メモリ109.2に記憶され、及び補正制御情報CCIの部分をも形成する。補正制御信号情報CCSIは、結像誤差変化IEAに応じて必要な補正制御信号CCSを表す。換言すると、定義された結像誤差変化IEAを定義された補正制御信号モデルCCSMに入力すると、結像誤差変化IEAを補正するために第2光学素子106.2用の能動デバイス113に提供されるべき補正制御信号CCSを描く、定義された出力が得られる。従って、究極的には、補正制御信号モデルCCSMを使用して、実際の機械的外乱MDに反応する光学結像装置101の実際の結像誤差変化IEAを補償するために要求される、適切な補正制御信号CCSを生成できる。

【0112】

制御ユニット101.1は、組み合わせモデルCM(Combined Model)又は組み合わせモデル情報CMI(Combined Model Information)を夫々使用することもできる、と理解されよう。これらは、機械的数値モデルMNM、光学モデルOM、及び最終的には補正制御信号モデルCCSMの適切な数値的組み合わせを含む。従って、最終的には、組み合わせモデル情報CMI(Combined Model Information)は即座に、機械的外乱情報MDIの入力に応じた補正制御信号CCSをもたらす。

【0113】

補正制御情報CCIは、数値シミュレーション成分及び/又は経験成分を含む任意の望ましい適切な方法で確立されたものとすることができる、と理解されよう。例えば制御情報は、光学結像装置のモデル化部分及び/又は光学特性の、数値モデルの形式であるシミュレーション成分を使用して確立されたものとすることができる。従って、上記に概説したように、機械的数値モデルMNM、光学モデルOM、及び補正制御信号モデルCCSMのいずれかが、そうした数値モデルであり得る。

【0114】

追加的又は代替的に、制御情報CCIは、(例えば適切な試験等である)経験的手段により得られた各出入力(及び適切な解像度)の間の関係の形式である経験成分を使用して確立されたものとすることができる。例えば、機械的数値モデルMNM、光学モデルOM、及び補正制御信号モデルCCSMのいずれかを、そうした経験的に得た関係により、置き換えることもできる。

【0115】

例えば、第1光学素子106.6の定義された機械的励起ME(Mechanical Excitation)(即ち、定義された振幅及び周波数挙動)に反応する結像誤差変化IEAを表す結像誤差変化情報IEAI(Imaging Error Alteration Information)を、そうした経験的に

10

20

30

40

50

得られた関係として、及び／又は光学モデルOMの部分として使用できる。

【0116】

従って、特定の実施形態では、光学結像装置101の支持構造系111、112のアクチュエータデバイスを使用して、（制御ユニット109.1の制御下で）結像誤差変化情報IEAIを決定するために使用される定義された機械的励起MEを発生させることができる。より正確には、例えば、第1光学素子106.6を支持する能動支持デバイス108.6を使用して、制御ユニット109.1の制御下で、この定義された機械的励起MEを発生させることができる。

【0117】

そうしたデータ収集は、光学結像装置101の組立てられた状態で、光路内の適切なセンサ（例えばオンライン波面収差センサ）を使用して実行可能であり、機械的励起に反応する結像誤差変化IEAIを決定可能とする。追加的又は代替的に、データ収集は、第1光学素子106.6及びその支持デバイス108.6を含む光学モジュールの組み立て前の状態で行なわれてもよい。

10

【0118】

追加的又は代替的に、支持構造系の部分を支持するアクチュエータデバイス115を使用して、機械的励起MEを発生させることができる。例えば、基礎支持構造111上で中間支持構造112を能動的に支持するアクチュエータデバイス115を使用して、制御ユニット109.1の制御に対して機械的励起MEを発生させることができる。結果として生じる結像誤差変化情報IEAIを決定するために、基板104.1を有する基板テーブル104.2は、その場合、適切なセンサ情報を捕捉する適切な光学センサ114（例えば、オンライン波面収差センサ）と置き換えられることが好適である。従って、究極的には、データ収集を光学結像装置101の組立てられた状態で実行できる。

20

【0119】

特定の実施形態では、データ収集設定構成は、好適には、機械的外乱情報MDIを決定するために後に使用される各センサユニット110.1、110.2を含む、と理解されよう。この手段により、機械的外乱情報MDIと結像誤差変化IEAIとの間で、特に信頼性の高い密接な一致が得られる。

【0120】

上述したように、定義された機械的励起MEは、（例えば振幅及び周波数挙動に関して）任意の所望される適切なタイプであってよい。本例において、定義された機械的励起は、正弦波励起とすることができる。なぜなら、上述したように、大きくかつ重い第1光学素子106.6に対して、低周波振動に起因する残留変形がますます重要な役割を果たすためである。従って本例において、そうした低周波数の機械的励起下での第1光学素子106.6の振動挙動が、特に着目される。従って好適には、印加される定義された機械的励起MEは、0.05Hz乃至1000Hz、好適には0.1Hz乃至100Hz、更に好適には1Hz乃至5Hzの励起周波数EF（Excitation Frequency）を有する。特定的好適な実施形態では、第1光学素子106.6は、一次曲げ共振周波数BRF1（Bending Resonant Frequency）を有する。また励起周波数EFは、0.05Hzから一次曲げ共振周波数の三分の二（即ち $2/3 \cdot BRF1$ ）までの範囲である。

30

40

【0121】

ここで、適切な補正制御信号CCSの生成に関連して使用される、上記に概説した全ての情報は、光学結像プロセスにおいて、特に着目される1つ以上の自由度で捕捉され、及び又はその自由度に関連することに注意されたい。従って、最終的には、上記に概説した全ての情報は、個別に、空間の全6自由度までの少なくとも1つの自由度で取得可能である、及び／又はその自由度で使用可能である。

【0122】

図1及び図2の光学結像装置101において、パターンの像を基板上に転写する方法は、図1乃至図3を参照して以下に記載されるような本発明による光学結像誤差を補正する方法の好適な実施形態を使用して、実行することができる。

50

## 【 0 1 2 3 】

この目的を達成するために、ステップ S 1 において、上述したような光学結像装置 1 0 1 の構成部品を提供する。更にステップ S 2 において、これらの構成部品、特に光学素子 1 0 6 . 1 乃至 1 0 6 . 6 を、上述したように、支持構造を介して支持する。

## 【 0 1 2 4 】

この方法の転写するステップ T S において、上述したように、マスク 1 0 3 . 1 上に形成されたパターンの像を、光学結像装置 1 0 1 の光学投影ユニット 1 0 2 を使用し、基板 1 0 4 . 1 上に転写する。この露光プロセスで、最大限可能な結像精度を達成するために、本発明による光学結像誤差を補正する方法の好適な実施形態を使用して、結像誤差を可及的に低く抑える。

10

## 【 0 1 2 5 】

この目的を達成するために、上述の転送するステップの捕捉するステップ S 3 において、第 1 光学素子 1 0 6 . 6 に向かい伝搬する機械的外乱 M D を、上述したような制御装置 1 0 9 を使用して捕捉する。転送するステップの、続く制御するステップ S 4 において、制御装置 1 0 9 が適切な補正制御信号 C C S を決定し、及び補正制御信号 C C S を能動デバイス 1 1 3 に転送し、上記に概説したようなに、第 2 光学素子 1 0 6 . 2 に対する適切な補正動作を得る。

## 【 0 1 2 6 】

上記において、光学素子が一対の反射素子である場合の本発明の実施形態が記述された。しかしながら、本発明の他の実施形態において、反射素子、屈折素子、又は回折素子、又はそれらの任意の組み合わせを光学素子ユニットの光学素子として使用することができる、と理解されよう。

20

## 【 0 1 2 7 】

さらに本発明は、上記において主としてマイクロリソグラフィに関連して記述された。しかしながら本発明は、典型的に同等の高いレベルの結像精度が要求される任意の他の種類の光学結像プロセスに関連しても使用することができる、と理解されよう。特に本発明は、異なる波長で作動する任意の他の種類の光学結像プロセスに関連して使用することができる。



【図 1】

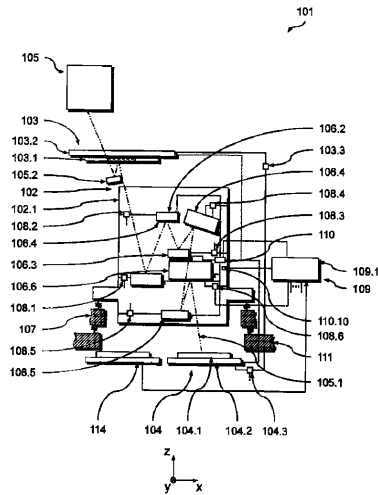


Fig. 1

【図 2】

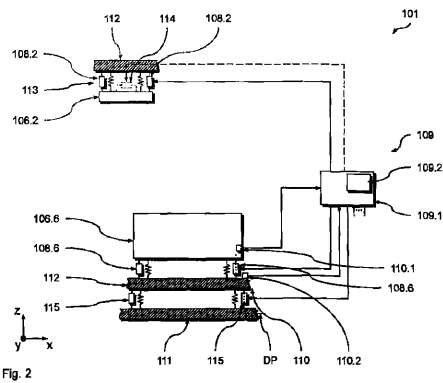
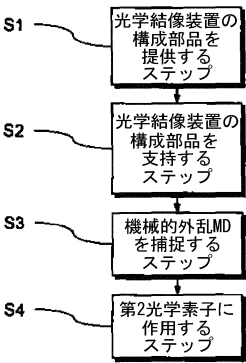


Fig. 2

【図 3】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
G 0 2 B 17/00 Z

(72)発明者 ベルンハルト ゴイッペルト  
ドイツ国 7 3 4 3 0 アーレン キーフェルンヴェーク 1 4  
(72)発明者 イェンス クーグラー  
ドイツ国 7 3 4 3 1 アーレン ヴァルクシュトラッセ 6 4

審査官 長谷 潮

(56)参考文献 国際公開第2005/006417(WO, A1)  
特表2012-502490(JP, A)  
欧州特許出願公開第02128700(EP, A1)  
特開2000-066075(JP, A)  
特開平06-250061(JP, A)  
特開2005-051242(JP, A)  
特開2005-236258(JP, A)  
特表2014-521204(JP, A)  
特開2006-140366(JP, A)  
米国特許出願公開第2013/0242282(US, A1)  
韓国公開特許第10-2009-0103762(KR, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G 0 3 F 7 / 2 0 - 7 / 2 4  
G 0 2 B 7 / 0 0  
G 0 2 B 7 / 1 8 5  
G 0 2 B 7 / 1 9 8  
G 0 2 B 1 7 / 0 0