

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7105582号

(P7105582)

(45)発行日 令和4年7月25日(2022.7.25)

(24)登録日 令和4年7月14日(2022.7.14)

(51)国際特許分類

G 0 3 F 7/20 (2006.01)

F I

G 0 3 F 7/20 5 0 1

G 0 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 27 (全19頁)

(21)出願番号 特願2018-43490(P2018-43490)
(22)出願日 平成30年3月9日(2018.3.9)
(65)公開番号 特開2019-159029(P2019-159029
A)
(43)公開日 令和1年9月19日(2019.9.19)
審査請求日 令和3年3月1日(2021.3.1)

(73)特許権者 000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(74)代理人 110003281
特許業務法人大塚国際特許事務所
(72)発明者 簀 伸彦
東京都大田区下丸子3丁目30番2号
キヤノン株式会社内
審査官 植木 隆和

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 決定方法、露光方法、露光装置、物品の製造方法及びプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

マスクのパターンを基板に投影する投影光学系のベストフォーカス位置を決定する決定方法であって、

前記投影光学系を介して前記投影光学系の像面側の光軸方向の複数の位置においてそれぞれに転写された、第1計測パターンの線幅の計測値、又は前記第1計測パターンの強度プロファイルと、前記複数の位置のそれぞれとの関係を示す関数を取得する第1工程と、前記関数と第1レベルとが交差する2つの点の midpoint となる第1フォーカス位置を求める第2工程と、

前記関数と前記第1レベルとは異なる第2レベルとが交差する2つの点の midpoint となる第2フォーカス位置を求める第3工程と、

前記関数と前記第1レベルと前記第2レベルとの間の第3レベルとが交差する2つの点の midpoint となる第3フォーカス位置を求める第4工程と、

前記第1フォーカス位置、前記第2フォーカス位置及び前記第3フォーカス位置に基づいて、前記ベストフォーカス位置を決定する第5工程と、

を有することを特徴とする決定方法。

【請求項2】

前記第5工程では、前記第3フォーカス位置、前記第1フォーカス位置と前記第3フォーカス位置との第1差分、及び、前記第2フォーカス位置と前記第3フォーカス位置との第2差分に基づいて、前記ベストフォーカス位置を決定することを特徴とする請求項1に記

載の決定方法。

【請求項 3】

マスクのパターンを基板に投影する投影光学系のベストフォーカス位置を決定する決定方法であって、

前記投影光学系を介して前記投影光学系の像面側の光軸方向の複数の位置においてそれぞれに転写された第 1 計測パターンの計測結果と、前記複数の位置のそれぞれとの関係を示す関数を取得する第 1 工程と、

前記関数と第 1 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 1 フォーカス位置を求める第 2 工程と、

前記関数と前記第 1 レベルとは異なる第 2 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 2 フォーカス位置を求める第 3 工程と、

前記関数と前記第 1 レベルと前記第 2 レベルとの間の第 3 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 3 フォーカス位置を求める第 4 工程と、

前記ベストフォーカス位置を決定する第 5 工程と、
を有し、

前記第 5 工程は、前記第 1 フォーカス位置と前記第 3 フォーカス位置との第 1 差分及び前記第 2 フォーカス位置と前記第 3 フォーカス位置との第 2 差分が閾値より大きい場合に、前記関数と前記第 1 レベルを所定量だけシフトさせた第 4 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 4 フォーカス位置を求める工程と、

前記関数と前記第 2 レベルを前記所定量だけシフトさせた第 5 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 5 フォーカス位置を求める工程と、

前記関数と前記第 3 レベルを前記所定量だけシフトさせた第 6 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 6 フォーカス位置を求める工程と、

前記第 6 フォーカス位置、前記第 4 フォーカス位置と前記第 6 フォーカス位置との差分、及び、前記第 5 フォーカス位置と前記第 6 フォーカス位置との差分に基づいて、前記ベストフォーカス位置を決定する工程と、

を含むことを特徴とする決定方法。

【請求項 4】

前記計測結果は、前記複数の位置のそれぞれに転写された前記第 1 計測パターンの線幅又は前記第 1 計測パターンの光強度プロファイルを含むことを特徴とする請求項 3 に記載の決定方法。

【請求項 5】

前記第 3 レベルは、前記第 1 レベルと前記第 2 レベルとの midpoint であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のうちいずれか 1 項に記載の決定方法。

【請求項 6】

前記第 5 工程では、前記第 1 差分及び前記第 2 差分が閾値以下である場合に、前記第 3 フォーカス位置を前記ベストフォーカス位置とすることを特徴とする請求項 2 に記載の決定方法。

【請求項 7】

前記第 5 工程は、前記第 1 差分及び前記第 2 差分が閾値より大きい場合に、前記投影光学系を介して前記複数の位置のそれぞれに再度転写された前記第 1 計測パターンの計測結果と、前記複数の位置のそれぞれとの関係を示す新たな関数を取得する工程と、前記新たな関数と前記第 1 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 7 フォーカス位置を求める工程と、

前記新たな関数と前記第 2 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 8 フォーカス位置を求める工程と、

前記新たな関数と前記第 3 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 9 フォーカス位置を求める工程と、

前記第 9 フォーカス位置、前記第 7 フォーカス位置と前記第 9 フォーカス位置との差分、及び、前記第 8 フォーカス位置と前記第 9 フォーカス位置との差分に基づいて、前記ベス

10

20

30

40

50

トフォーカス位置を決定する工程と、
を含むことを特徴とする請求項 2 に記載の決定方法。

【請求項 8】

前記第 5 工程は、前記第 1 差分及び前記第 2 差分が閾値より大きい場合に、
前記投影光学系を介して前記複数の位置のそれぞれに転写された、前記第 1 計測パターン
と同一の方向に延在し、且つ、前記第 1 計測パターンの線幅とは異なる線幅を有する第 2
計測パターンの計測結果と、前記複数の位置のそれぞれとの関係を示す新たな関数を取得
する工程と、
前記新たな関数と前記第 1 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 10 フォーカス位
置を求める工程と、
前記新たな関数と前記第 2 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 11 フォーカス位
置を求める工程と、
前記新たな関数と前記第 3 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 12 フォーカス位
置を求める工程と、
前記第 12 フォーカス位置、前記第 10 フォーカス位置と前記第 12 フォーカス位置との
差分、及び、前記第 11 フォーカス位置と前記第 12 フォーカス位置との差分に基づいて
、前記ベストフォーカス位置を決定する工程と、
を含むことを特徴とする請求項 2 に記載の決定方法。

10

【請求項 9】

前記第 5 工程は、前記投影光学系を介して前記複数の位置のそれぞれに前記第 2 計測パタ
ーンを転写する工程を含むことを特徴とする請求項 8 に記載の決定方法。

20

【請求項 10】

マスクのパターンを基板に投影する投影光学系のベストフォーカス位置を決定する決定方
法であって、
前記投影光学系を介して前記投影光学系の像面側の光軸方向の複数の位置においてそれぞ
れに転写された、第 1 計測パターンの線幅の計測値、又は前記第 1 計測パターンの強度プ
ロファイルと、前記複数の位置のそれぞれとの関係を示す関数を取得する第 1 工程と、
前記関数と第 1 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 1 フォーカス位置を求める第
2 工程と、
前記関数と前記第 1 レベルとは異なる第 2 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 2
フォーカス位置を求める第 3 工程と、
前記第 1 フォーカス位置と前記第 2 フォーカス位置とに基づいて、前記ベストフォーカス
位置を決定する第 4 工程と、
を有することを特徴とする決定方法。

30

【請求項 11】

前記第 4 工程では、前記第 1 フォーカス位置と前記第 2 フォーカス位置との差分に基づい
て、前記ベストフォーカス位置を決定することを特徴とする請求項 10 に記載の決定方法。

【請求項 12】

前記第 4 工程では、前記差分が閾値以下である場合に、前記第 1 フォーカス位置と前記第
2 フォーカス位置との間の第 3 フォーカス位置を前記ベストフォーカス位置とすることを
特徴とする請求項 11 に記載の決定方法。

40

【請求項 13】

前記第 3 フォーカス位置は、前記第 1 フォーカス位置と前記第 2 フォーカス位置との midpoint
であることを特徴とする請求項 12 に記載の決定方法。

【請求項 14】

前記第 3 フォーカス位置は、前記関数と、前記関数と第 3 レベルとが交差する 2 つの点を
結ぶ線分とによって規定される閉領域の重心位置であり、
前記第 3 レベルは、前記第 1 レベルと前記第 2 レベルとの間のレベルであることを特徴と
する請求項 12 に記載の決定方法。

【請求項 15】

50

マスクのパターンを基板に投影する投影光学系を有する露光装置を用いて前記基板を露光する露光方法であって、

前記投影光学系のベストフォーカス位置を決定する第 1 工程と、

前記第 1 工程で決定したベストフォーカス位置に基づいて、前記露光装置を調整する第 2 工程と、

前記第 2 工程で調整された前記露光装置を用いて前記基板を露光する第 3 工程と、
を有し、

前記第 1 工程は、

前記投影光学系を介して前記投影光学系の像面側の光軸方向の複数の位置においてそれぞれに転写された、第 1 計測パターンの線幅の計測値、又は前記第 1 計測パターンの強度プロファイルと、前記複数の位置のそれぞれとの関係を示す関数を取得する工程と、
前記関数と第 1 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 1 フォーカス位置を求める工程と、

10

前記関数と前記第 1 レベルとは異なる第 2 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 2 フォーカス位置を求める工程と、

前記関数と前記第 1 レベルと前記第 2 レベルとの間の第 3 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 3 フォーカス位置を求める工程と、

前記第 1 フォーカス位置、前記第 2 フォーカス位置及び前記第 3 フォーカス位置に基づいて、前記ベストフォーカス位置を決定する工程と、

を含むことを特徴とする露光方法。

20

【請求項 16】

前記ベストフォーカス位置を決定する工程では、前記第 3 フォーカス位置、前記第 1 フォーカス位置と前記第 3 フォーカス位置との第 1 差分、及び、前記第 2 フォーカス位置と前記第 3 フォーカス位置との第 2 差分に基づいて、前記ベストフォーカス位置を決定することを特徴とする請求項 15 に記載の露光方法。

【請求項 17】

マスクのパターンを基板に投影する投影光学系を有する露光装置を用いて前記基板を露光する露光方法であって、

前記投影光学系のベストフォーカス位置を決定する第 1 工程と、

前記第 1 工程で決定したベストフォーカス位置に基づいて、前記露光装置を調整する第 2 工程と、

30

前記第 2 工程で調整された前記露光装置を用いて前記基板を露光する第 3 工程と、
を有し、

前記第 1 工程は、

前記投影光学系を介して前記投影光学系の像面側の光軸方向の複数の位置においてそれぞれに転写された第 1 計測パターンの計測結果と、前記複数の位置のそれぞれとの関係を示す関数を取得する工程と、

前記関数と第 1 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 1 フォーカス位置を求める工程と、

前記関数と前記第 1 レベルとは異なる第 2 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 2 フォーカス位置を求める工程と、

40

前記関数と前記第 1 レベルと前記第 2 レベルとの間の第 3 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 3 フォーカス位置を求める工程と、

前記第 1 フォーカス位置と前記第 3 フォーカス位置との第 1 差分及び前記第 2 フォーカス位置と前記第 3 フォーカス位置との第 2 差分が閾値より大きい場合に、前記関数と前記第 1 レベルを所定量だけシフトさせた第 4 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 4 フォーカス位置を求め、前記関数と前記第 2 レベルを前記所定量だけシフトさせた第 5 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 5 フォーカス位置を求め、前記関数と前記第 3 レベルを前記所定量だけシフトさせた第 6 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 6 フォーカス位置を求め、前記第 6 フォーカス位置、前記第 4 フォーカス位置と前記第 6 フォ

50

ーカス位置との差分、及び、前記第 5 フォーカス位置と前記第 6 フォーカス位置との差分に基づいて、前記ベストフォーカス位置を決定する工程と、
を含むことを特徴とする露光方法。

【請求項 18】

マスクのパターンを基板に投影する投影光学系を有する露光装置を用いて前記基板を露光する露光方法であって、

前記投影光学系のベストフォーカス位置を決定する第 1 工程と、

前記第 1 工程で決定したベストフォーカス位置に基づいて、前記露光装置を調整する第 2 工程と、

前記第 2 工程で調整された前記露光装置を用いて前記基板を露光する第 3 工程と、
 を有し、

前記第 1 工程は、

前記投影光学系を介して前記投影光学系の像面側の光軸方向の複数の位置においてそれぞれに転写された、第 1 計測パターンの線幅の計測値、又は前記第 1 計測パターンの強度プロファイルと、前記複数の位置のそれぞれとの関係を示す関数を取得する工程と、
 前記関数と第 1 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 1 フォーカス位置を求める工程と、

前記関数と前記第 1 レベルとは異なる第 2 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 2 フォーカス位置を求める工程と、

前記第 1 フォーカス位置と前記第 2 フォーカス位置とに基づいて、前記ベストフォーカス位置を決定する工程と、
 を含むことを特徴とする露光方法。

【請求項 19】

前記ベストフォーカス位置を決定する工程では、前記第 1 フォーカス位置と前記第 2 フォーカス位置との差分に基づいて、前記ベストフォーカス位置を決定することを特徴とする請求項 18 に記載の露光方法。

【請求項 20】

前記第 2 工程は、前記基板を保持する基板ステージの位置及び姿勢の少なくとも 1 つを調整する工程、及び、前記投影光学系に含まれる光学素子の位置、姿勢及び面形状の少なくとも 1 つを調整する工程の少なくとも一方を含むことを特徴とする請求項 15 乃至 19 のうちいずれか 1 項に記載の露光方法。

【請求項 21】

基板を露光する露光装置であって、

マスクのパターンを前記基板に投影する投影光学系と、

前記投影光学系のベストフォーカス位置を決定する処理を行う処理部と、

を有し、

前記処理部は、

前記投影光学系を介して前記投影光学系の像面側の光軸方向の複数の位置においてそれぞれに転写された第 1 計測パターンの線幅の計測値、又は前記第 1 計測パターンの強度プロファイルと、前記複数の位置のそれぞれとの関係を示す関数を取得し、

前記関数と第 1 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 1 フォーカス位置を求め、

前記関数と前記第 1 レベルとは異なる第 2 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 2 フォーカス位置を求め、

前記関数と前記第 1 レベルと前記第 2 レベルとの間の第 3 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 3 フォーカス位置を求め、

前記第 1 フォーカス位置、前記第 2 フォーカス位置及び前記第 3 フォーカス位置に基づいて、前記ベストフォーカス位置を決定することを特徴とする露光装置。

【請求項 22】

前記処理部は、前記第 3 フォーカス位置、前記第 1 フォーカス位置と前記第 3 フォーカス位置との第 1 差分、及び、前記第 2 フォーカス位置と前記第 3 フォーカス位置との第 2 差

10

20

30

40

50

分に基づいて、前記ベストフォーカス位置を決定することを特徴とする請求項 2_1 に記載の露光装置。

【請求項 2 3】

基板を露光する露光装置であって、
 マスクのパターンを前記基板に投影する投影光学系と、
 前記投影光学系のベストフォーカス位置を決定する処理を行う処理部と、
 を有し、
 前記処理部は、
 前記投影光学系を介して前記投影光学系の像面側の光軸方向の複数の位置においてそれぞれに転写された第 1 計測パターンの計測結果と、前記複数の位置のそれぞれとの関係を示す関数を取得し、
 前記関数と第 1 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 1 フォーカス位置を求め、
 前記関数と前記第 1 レベルとは異なる第 2 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 2 フォーカス位置を求め、
 前記関数と前記第 1 レベルと前記第 2 レベルとの間の第 3 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 3 フォーカス位置を求め、
 前記第 1 フォーカス位置と前記第 3 フォーカス位置との第 1 差分及び前記第 2 フォーカス位置と前記第 3 フォーカス位置との第 2 差分が閾値より大きい場合に、前記関数と前記第 1 レベルを所定量だけシフトさせた第 4 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 4 フォーカス位置を求め、前記関数と前記第 2 レベルを前記所定量だけシフトさせた第 5 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 5 フォーカス位置を求め、前記関数と前記第 3 レベルを前記所定量だけシフトさせた第 6 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 6 フォーカス位置を求め、
 前記第 6 フォーカス位置、前記第 4 フォーカス位置と前記第 6 フォーカス位置との差分、及び、前記第 5 フォーカス位置と前記第 6 フォーカス位置との差分に基づいて、前記ベストフォーカス位置を決定することを特徴とする露光装置。

10

20

【請求項 2 4】

基板を露光する露光装置であって、
 マスクのパターンを前記基板に投影する投影光学系と、
 前記投影光学系のベストフォーカス位置を決定する処理を行う処理部と、
 を有し、
 前記処理部は、
 前記投影光学系を介して前記投影光学系の像面側の光軸方向の複数の位置においてそれぞれに転写された、第 1 計測パターンの線幅の計測値、又は前記第 1 計測パターンの強度プロファイルと、前記複数の位置のそれぞれとの関係を示す関数を取得し、
 前記関数と第 1 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 1 フォーカス位置を求め、
 前記関数と前記第 1 レベルとは異なる第 2 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 2 フォーカス位置を求め、
 前記第 1 フォーカス位置と前記第 2 フォーカス位置とに基づいて、前記ベストフォーカス位置を決定することを特徴とする露光装置。

30

40

【請求項 2 5】

前記処理部は、前記第 1 フォーカス位置と前記第 2 フォーカス位置との差分に基づいて、前記ベストフォーカス位置を決定することを特徴とする請求項 2_4 に記載の露光装置。

【請求項 2 6】

請求項 1 5 乃至 2_0 のうちいずれか 1 項に記載の露光方法を用いて基板に塗布された感光剤を露光する工程と、
 露光された前記感光剤を現像して前記感光剤のパターンを形成する工程と、
 現像された前記感光剤のパターンをもとに前記基板にパターンを形成して、パターンが形成された基板を加工することによって物品を製造する工程と、
 を有することを特徴とする物品の製造方法。

50

【請求項 27】

請求項 1 乃至 14 のうちいずれか 1 項に記載の決定方法の各工程をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、決定方法、露光方法、露光装置、物品の製造方法及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスやフラットパネルディスプレイ（FPD）などのデバイスは、フォトリソグラフィ工程を経て製造される。フォトリソグラフィ工程は、マスク又はレチクル（原版）のパターンを、レンズやミラーを含む投影光学系を介して、レジスト（感光剤）が塗布されたガラスプレートやウエハなどの基板に投影し、かかる基板を露光する露光工程を含む。

10

【0003】

露光工程では、投影光学系のベストフォーカス位置、即ち、マスクのパターンの像が最も高いコントラストで形成される位置と、基板の表面位置（レジストが塗布された面）とを正確に一致させる必要がある。投影光学系のベストフォーカス位置と基板の表面位置とが一致していないと、マスクのパターンの像にボケが生じ、所望のパターンの像を基板上に形成することができない。

20

【0004】

投影光学系のベストフォーカス位置を求める技術に関しては、従来から提案されている（特許文献 1 参照）。特許文献 1 に開示された技術では、まず、レジストが塗布された基板のフォーカス位置を初期値に設定した状態において、フォーカス計測用パターンを介して基板を露光する（フォーカス計測用パターンの像を基板上に形成する）。次いで、基板のフォーカス位置を所定のステップ量だけ変更した状態において、フォーカス計測用パターンを介して基板を露光する。このような基板のフォーカス位置の変更と基板の露光とを、基板のフォーカス位置が変更範囲の下限や上限に達するまで繰り返し、基板のフォーカス位置が変更範囲の下限や上限に達したら、基板を現像する。次に、現像後の基板上に形成されたフォーカス計測用パターンに対応するレジスト像（パターン像）の大きさを計測し、最小自乗法を用いてパターン像の大きさをフォーカス位置の関数で近似する。そして、近似関数の最大値から予め定められた値だけ小さい閾値を設定し、かかる閾値と近似関数とが交差する 2 つの点（フォーカス位置）を求め、2 つの点の中間の位置を投影光学系のベストフォーカス位置とする。このように、特許文献 1 に開示された技術は、理想的な結像状態においては、基板上に形成されるフォーカス計測用パターンに対応するパターン像の大きさのフォーカス位置による変化がベストフォーカス位置に関して対称となることを利用している。これは、像形成に対するデフォーカスの影響は、プラス側、マイナス側でほぼ同じであるからである。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0005】

【文献】特開平 6 - 216004 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、実際には、基板上に形成されるフォーカス計測用パターンに対応するパターン像の大きさのフォーカス位置による変化がベストフォーカス位置に関して非対称となる場合がある。フォーカス計測用パターンに対応するパターン像は、フォーカス位置ごとに基板上の異なる位置に形成される。従って、基板上の位置に依存してパターン像の大きさを変化させる要因が存在する場合、パターン像の大きさのフォーカス位置による変化が

50

ベストフォーカス位置に関して非対称となる。このような要因としては、レジスト膜厚の基板上的位置による差、現像時の現像液の液量や滞留時間の基板上的位置による差、フレア光強度の基板上的位置による差などが挙げられる。また、投影光学系が球面収差などの収差を有している場合にも、パターン像の大きさのフォーカス位置による変化がベストフォーカス位置に関して非対称となる。

【 0 0 0 7 】

このような場合には、パターン像の大きさをフォーカス位置の関数で近似して得られる近似関数も非対称な形状となるため、閾値をどこに設定するか依存して、ベストフォーカス位置が大きく変化してしまう。従って、非対称な形状の近似関数から求まるベストフォーカス位置は、その信頼性が低い（真値との差が大きい）と考えられる。但し、従来技術では、近似関数から求まるベストフォーカス位置の信頼性を定量的に評価することができないため、真値との差が大きいフォーカス位置をベストフォーカス位置としてしまう可能性がある。

10

【 0 0 0 8 】

本発明は、このような従来技術の課題に鑑みてなされ、投影光学系のベストフォーカス位置を決定するのに有利な決定方法を提供することを例示的目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての決定方法は、マスクのパターンを基板に投影する投影光学系のベストフォーカス位置を決定する決定方法であって、前記投影光学系を介して前記投影光学系の像面側の光軸方向の複数の位置においてそれぞれに転写された、第 1 計測パターンの線幅の計測値、又は前記第 1 計測パターンの強度プロファイルと、前記複数の位置のそれぞれとの関係を示す関数を取得する第 1 工程と、前記関数と第 1 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 1 フォーカス位置を求める第 2 工程と、前記関数と前記第 1 レベルとは異なる第 2 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 2 フォーカス位置を求める第 3 工程と、前記関数と前記第 1 レベルと前記第 2 レベルとの間の第 3 レベルとが交差する 2 つの点の midpoint となる第 3 フォーカス位置を求める第 4 工程と、前記第 1 フォーカス位置、前記第 2 フォーカス位置及び前記第 3 フォーカス位置に基づいて、前記ベストフォーカス位置を決定する第 5 工程と、を有することを特徴とする。

20

【 0 0 1 0 】

本発明の更なる目的又はその他の側面は、以下、添付図面を参照して説明される好ましい実施形態によって明らかにされるであろう。

30

【発明の効果】

【 0 0 1 1 】

本発明によれば、例えば、投影光学系のベストフォーカス位置を決定するのに有利な決定方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 2 】

【図 1】露光装置の構成を示す概略図である。

【図 2】計測パターンの一例を示す図である。

40

【図 3】投影光学系のベストフォーカス位置を決定する決定処理を説明するためのフローチャートである。

【図 4】図 3 に示す決定処理の S 3 2 2、S 3 2 4 及び S 3 2 6、S 3 2 8、S 3 3 2 及び S 3 3 4 を具体的に説明するための図である。

【図 5】図 3 に示す決定処理の S 3 2 2、S 3 2 4 及び S 3 2 6、S 3 2 8、S 3 3 2 及び S 3 3 4 を具体的に説明するための図である。

【図 6】図 3 に示す決定処理の S 3 2 2、S 3 2 4 及び S 3 2 6、S 3 2 8、S 3 3 2 及び S 3 3 4 を具体的に説明するための図である。

【図 7】投影光学系のベストフォーカス位置を決定する決定処理を説明するための図である。

50

【図 8】露光装置の構成を示す概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施の形態について説明する。なお、各図において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。

【0014】

本発明の一側面として、物体面からの光を像面に結像させる光学系のベストフォーカス位置を決定する決定方法について説明する。本実施形態では、露光装置に用いられる、マスクのパターンを基板に投影する投影光学系のベストフォーカス位置を決定する際に本発明を適用する場合を例に説明する。ここで、投影光学系のベストフォーカス位置とは、マスクのパターンの像が最も高いコントラストで形成される位置である。

10

【0015】

まず、図 1 を参照して、露光装置 100 について説明する。図 1 は、露光装置 100 の構成を示す概略図である。露光装置 100 は、半導体デバイスやフラットパネルディスプレイ (FPD) などのデバイスの製造工程であるフォトリソグラフィ工程に用いられるリソグラフィ装置である。露光装置 100 は、マスクを介して基板を露光して、マスクのパターンを基板に転写する。

【0016】

露光装置 100 は、図 1 に示すように、照明光学系 1 と、投影光学系 7 と、マスクステージ 22 と、基板ステージ 62 と、制御部 80 とを有する。ここでは、水平面を XY 平面とし、鉛直方向を Z 軸方向とするように XYZ 座標系が定義されている。

20

【0017】

露光装置 100 は、光源 (不図示) から射出された光を、照明光学系 1 を介してマスク 21 に照射し、マスク 21 のパターンからの光を、投影光学系 7 を介して基板 61 に結像させる。基板 61 には、レジスト (感光剤) が塗布されているため、後工程の現像工程を経ることでマスク 21 のパターンが基板 61 に転写される。

【0018】

基板 61 を露光する際には、マスク 21 を保持するマスクステージ 22 と、基板 61 を保持する基板ステージ 62 とが同期して ±Y 方向に走査される。これにより、投影光学系 7 の投影領域よりも大きいサイズの領域 (マスクパターン領域) で基板 61 を露光することができる。マスクステージ 22 及び基板ステージ 62 の走査が終了すると、基板ステージ 62 を X 方向及び / 又は Y 方向に一定量だけステップ移動させて、基板 61 の別のショット領域を露光する。基板 61 の全てのショット領域の露光が終了すると、基板 61 を露光装置 100 から搬出し、新たな基板を露光装置 100 に搬入する。

30

【0019】

投影光学系 7 は、本実施形態では、凹面ミラー 3 と、台形ミラー 4 と、凸面ミラー 5 とを含む反射型光学系である。また、投影光学系 7 は、両側 (物体面側及び像面側) にテレセントリックである。換言すれば、投影光学系 7 から基板 61 に入射する光の主光線は、物体面側及び像面側の両方において、Z 軸と平行である。

【0020】

制御部 80 は、CPU やメモリなどを含む情報処理装置 (コンピュータ) で構成され、メモリに格納されたプログラムに従って露光装置 100 の各部を制御する。制御部 80 は、露光装置 100 の各部の動作を制御することで、基板 61 を露光してマスク 21 のパターンを基板 61 に転写する露光処理を行う。また、制御部 80 は、本実施形態では、投影光学系 7 のベストフォーカス位置を決定する決定処理を行う処理部としても機能する。但し、かかる決定処理は、必ずしも制御部 80 で行う必要はなく、露光装置 100 の外部の情報処理装置で行い、情報処理装置から投影光学系 7 のベストフォーカス位置を取得するようにしてもよい。

40

【0021】

投影光学系 7 を介してマスク 21 のパターンを基板 61 に投影する際には、投影光学系 7

50

のベストフォーカス位置と、基板 6 1 の表面位置（レジストが塗布された面）とを正確に一致させる必要がある。投影光学系 7 のベストフォーカス位置と基板 6 1 の表面位置とが一致していないと、投影光学系 7 を介して基板上に形成されるマスク 2 1 のパターンの像にボケが生じてしまうため、所望のパターンの像を基板上に形成することができない。

【 0 0 2 2 】

そこで、本実施形態では、基板 6 1 を露光する前に、投影光学系 7 のベストフォーカス位置を決定する決定処理を行う。決定処理では、まず、投影光学系 7 に対するテスト基板の光軸方向、即ち、Z 軸方向の位置（フォーカス位置）を変更しながら、投影光学系 7 を介して、計測パターンの像をテスト基板に投影する。そして、現像工程を経てテスト基板に形成された、計測パターンに対応するレジスト像（パターン像）の線幅を計測し、その計測結果に基づいて、投影光学系 7 のベストフォーカス位置を決定する。このようにして決定された投影光学系 7 のベストフォーカス位置と基板 6 1 の表面位置とを一致させて基板 6 1 を露光する。これにより、投影光学系 7 を介して基板上に形成されるマスク 2 1 のパターンの像にボケが生じることなく、所望のパターンの像を基板上に形成することができる。なお、投影光学系 7 のベストフォーカス位置を決定する決定処理については、後で詳細に説明する。また、本実施形態では、決定処理では、投影光学系 7 を介して計測パターンの像を投影する対象をテスト基板としているが、テスト基板の代わりに、マスク 2 1 のパターンが転写される基板 6 1 を用いてもよい。

10

【 0 0 2 3 】

図 2 は、複数の計測パターンを含む計測パターン群 1 0 の一例を示す図である。計測パターン群 1 0 は、マスク 2 1 に設けられていてもよいし、マスク 2 1 とは別のフォーカス計測用マスクに設けられていてもよい。計測パターン群 1 0 は、例えば、図 2 に示すように、パターンの延在する方向が互いに異なる 4 つの計測パターン 1 0 1、1 0 2、1 0 3 及び 1 0 4 を含む。計測パターン 1 0 1 乃至 1 0 4 は、それぞれ孤立した単一の線パターンであって、孤立線（アイソ）パターンと呼ばれる。計測パターン 1 0 1 乃至 1 0 4 は、それぞれが延在する方向のパターンに対する投影光学系 7 のベストフォーカス位置を決定するために用いられる。従って、マスク 2 1 に形成されたどの方向のパターンに対して投影光学系 7 のベストフォーカス位置を決定するのかによって、計測パターン 1 0 1 乃至 1 0 4 のうち用いる計測パターンを決定すればよい。計測パターン 1 0 1 乃至 1 0 4 は、投影光学系 7 のベストフォーカス位置と基板 6 1 の表面位置とが一致している場合に、その像の線幅が最大となるように設計されている。従って、投影光学系 7 を介して投影光学系 7 の像面側の光軸方向、即ち、Z 軸方向の複数の位置のそれぞれに形成される計測パターン 1 0 1 乃至 1 0 4 の像の線幅を計測することで、投影光学系 7 のベストフォーカス位置を求めることができる。

20

30

【 0 0 2 4 】

以下、図 3 を参照して、投影光学系 7 のベストフォーカス位置を決定する決定処理について詳細に説明する。S 3 0 2 では、テスト基板のフォーカス位置を初期フォーカス位置に設定する。具体的には、レジストが塗布されたテスト基板を基板ステージ 6 2 に保持させて、テスト基板のフォーカス位置が初期フォーカス位置となるように基板ステージ 6 2 を移動させる。初期フォーカス位置は、例えば、テスト基板を Z 軸方向に移動させる範囲（移動範囲）の下限位置（Z 座標マイナス側のリミット）又は上限位置（Z 座標プラス側のリミット）に設定される。本実施形態では、初期フォーカス位置は、移動範囲の下限位置に設定されているものとする。

40

【 0 0 2 5 】

S 3 0 4 では、投影光学系 7 を介して計測パターンの像をテスト基板に投影し、テスト基板を露光する。具体的には、図 2 に示す計測パターン群 1 0 が設けられたマスクをマスクステージ 2 2 に保持させ、投影光学系 7 を介して、計測パターン 1 0 1 乃至 1 0 4 のうちの 1 つの計測パターンの像をテスト基板上に形成する。

【 0 0 2 6 】

S 3 0 6 では、テスト基板のフォーカス位置が移動範囲の上限位置に到達したかどうかを

50

判定する。テスト基板のフォーカス位置が移動範囲の上限位置に到達していない場合には、S 3 0 8に移行する。

【 0 0 2 7 】

S 3 0 8では、テスト基板をZ軸方向にステップ移動する。具体的には、テスト基板を保持する基板ステージを所定のステップ量だけZ軸方向に移動させる。本実施形態では、初期フォーカス位置が移動範囲の下限位置に設定されているため、テスト基板が上昇するように、基板ステージをZ座標プラス側に移動させる。S 3 0 2において、初期フォーカス位置が移動範囲の上限位置に設定されている場合には、テスト基板が下降するように、基板ステージをZ座標マイナス側に移動させる。

【 0 0 2 8 】

S 3 1 0では、テスト基板をX軸方向及び/又はY軸方向にステップ移動する。具体的には、テスト基板の未露光領域が露光されるように、テスト基板を保持する基板ステージを所定のステップ量だけX軸方向及び/又はY軸方向に移動させる。

【 0 0 2 9 】

このように、テスト基板のフォーカス位置が移動範囲の上限位置に到達するまで、S 3 0 4乃至S 3 1 0が繰り返される。そして、テスト基板のフォーカス位置が移動範囲の上限位置に到達すると、S 3 0 6において、S 3 1 2に移行する。

【 0 0 3 0 】

S 3 1 2では、露光装置1 0 0からテスト基板を搬出する。S 3 1 4では、露光装置1 0 0から搬出したテスト基板を現像する。

【 0 0 3 1 】

S 3 1 6では、顕微鏡を用いて、現像後のテスト基板に形成された、計測パターンに対応するレジスト像、即ち、テスト基板に転写された計測パターンの線幅を計測する。テスト基板のフォーカス位置 F_i ($i = 0, 1, 2, \dots$)に対応する計測パターンの線幅の計測値(計測結果)を L_i とする。レジスト像が崩れているなどして計測パターンの線幅が計測できない場合には、そのフォーカス位置 F_i に対応する計測パターンの線幅の計測値 L_i は無効とする。

【 0 0 3 2 】

S 3 1 8では、S 3 1 6で得られた計測パターンの計測値(有効な計測値)の数が所定数以下(例えば、4つ以下)であるかどうかを判定する。計測パターンの計測値の数が所定数以下である場合には、計測条件に問題があるとして、S 3 2 0に移行する。S 3 2 0では、投影光学系7のベストフォーカス位置を決定する決定処理がエラーとなったことを通知(エラー通知)し、S 3 0 2に移行して、投影光学系7を介して計測パターンの像をテスト基板に投影してテスト基板を露光することからやり直す。一方、計測パターンの計測値の数が所定数以下でない場合には、S 3 2 2に移行する。

【 0 0 3 3 】

S 3 2 2では、S 3 1 6で得られた計測パターンの計測値 L_i とテスト基板のフォーカス位置 F_i との関係を示す近似関数を取得する。具体的には、S 3 1 6で得られた計測パターンの計測値 L_i を、フォーカス位置の関数として最小自乗法による関数フィッティングを行う。関数フィッティングに用いる関数は、例えば、フォーカス位置の4次の多項式である。なお、本実施形態では、近似関数を例に説明するが、S 3 1 6で得られた計測パターンの計測値 L_i とテスト基板のフォーカス位置 F_i との関係を示す関数であればよい。

【 0 0 3 4 】

S 3 2 4では、S 3 2 2で取得された近似関数に基づいて、あるフォーカス範囲内で、近似関数の最大値 M 及び最大値 M に対応するフォーカス位置 F_M を求める。

【 0 0 3 5 】

S 3 2 6では、S 3 2 2で取得された近似関数に対して、3つのスライス値 T_1 、 T_2 及び T_3 を設定して、3つのフォーカス位置 F_1C 、 F_2C 及び F_3C を求める。スライス値 T_1 、 T_2 及び T_3 は、S 3 2 2で取得された近似関数に交差するように設定されるスライスレベル(直線)である。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 6 】

具体的には、まず、スライス値 T_3 (レベル) を設定し、 S_{322} で取得された近似関数とスライス値 T_3 とが交差する 2 つの点の midpoint となるフォーカス位置 F_{3C} を求める。ここでは、 S_{322} で取得された近似関数とスライス値 T_3 とが交差する 2 つの点のうち、マイナス側の点をフォーカス位置 F_{3A} とし、プラス側の点をフォーカス位置 F_{3B} とする。そして、フォーカス位置 F_{3A} 及び F_{3B} から、その平均であるフォーカス位置 F_{3C} を求める。スライス値 T_3 は、 S_{324} で求められた近似関数の最大値 M よりも僅かに小さい値を設定するのが妥当である。例えば、近似関数の最大値 M を基準として、 $T_3 = 0.90 \times M$ とする。但し、スライス値 T_3 は、近似関数の最大値 M にかかわらず、固定値としてもよい。

10

【 0 0 3 7 】

次いで、スライス値 T_3 とは異なるスライス値 T_1 及び T_2 を用いて、同様にフォーカス位置を求める。スライス値 T_1 は、スライス値 T_3 よりも一定量大きな値であり、スライス値 T_2 は、スライス値 T_3 よりも一定量小さな値である。例えば、 $T_1 = 0.95 \times M$ とし、 $T_2 = 0.85 \times M$ とする。そして、 S_{322} で取得された近似関数とスライス値 T_1 とが交差する 2 つの点の midpoint となるフォーカス位置 F_{1C} を求める。ここでは、 S_{322} で取得された近似関数とスライス値 T_1 とが交差する 2 つの点のうち、マイナス側の点をフォーカス位置 F_{1A} とし、プラス側の点をフォーカス位置 F_{1B} とする。そして、フォーカス位置 F_{1A} 及び F_{1B} から、その平均であるフォーカス位置 F_{1C} を求める。同様に、 S_{322} で取得された近似関数とスライス値 T_2 とが交差する 2 つの点の midpoint となるフォーカス位置 F_{2C} を求める。ここでは、 S_{322} で取得された近似関数とスライス値 T_2 とが交差する 2 つの点のうち、マイナス側の点をフォーカス位置 F_{2A} とし、プラス側の点をフォーカス位置 F_{2B} とする。そして、フォーカス位置 F_{2A} 及び F_{2B} から、その平均であるフォーカス位置 F_{2C} を求める。

20

【 0 0 3 8 】

S_{328} では、 S_{326} で求めた 3 つのフォーカス位置 F_{1C} 、 F_{2C} 及び F_{3C} が基準を満たしているかどうかを判定する。 S_{328} は、本実施形態では、 S_{326} で求めたフォーカス位置 F_{3C} を投影光学系 7 のベストフォーカス位置として妥当であるか (採用するか) どうかを判定するものである。具体的には、フォーカス位置 F_{3C} とフォーカス位置 F_{1C} との差分、及び、フォーカス位置 F_{3C} とフォーカス位置 F_{2C} との差分を求め、これらの差分の絶対値が閾値以下であるか、即ち、以下の式 (1) 及び式 (2) を満たすか判定する。 S_{322} で取得された近似関数がフォーカス位置に関して対称な形状であれば、 $|F_{1C} - F_{3C}|$ 及び $|F_{2C} - F_{3C}|$ の値が小さくなるため、式 (1) 及び式 (2) を満たしやすくなる。一方、 S_{322} で取得された近似関数がフォーカス位置に関して非対称な形状であれば、 $|F_{1C} - F_{3C}|$ 及び $|F_{2C} - F_{3C}|$ の値が大きくなるため、式 (1) 及び式 (2) を満たしにくくなる。

30

【 0 0 3 9 】

$$|F_{1C} - F_{3C}| \leq U \quad \dots (1)$$

$$|F_{2C} - F_{3C}| \leq U \quad \dots (2)$$

式 (1) 及び式 (2) において、 U は、閾値である。

40

【 0 0 4 0 】

閾値 U は、投影光学系 7 のベストフォーカス位置を決定する精度に基づいて予め設定しておく必要がある。例えば、投影光学系 7 のベストフォーカス位置を $1 \mu m$ 程度の精度で決定する必要があるれば、 $U = 1 \mu m$ と設定する。

【 0 0 4 1 】

式 (1) 及び式 (2) の両方を満たしている場合には、フォーカス位置 F_{3C} は投影光学系 7 のベストフォーカス位置として信頼性が高い (真値に近い) と考えられる。従って、フォーカス位置 F_{1C} 、 F_{2C} 及び F_{3C} が基準を満たしていると判定され、 S_{332} に移行する。

【 0 0 4 2 】

50

一方、式(1)及び式(2)のいずれか一方又は両方を満たしていない場合には、フォーカス位置 $F3C$ は、スライス値によって大きく変動するということであるため、投影光学系7のベストフォーカス位置として信頼性が低い(真値から遠い)と考えられる。従って、フォーカス位置 $F1C$ 、 $F2C$ 及び $F3C$ が基準を満たしていないと判定され、 $S330$ に移行する。

【0043】

$S330$ では、 $S322$ で取得された近似関数とスライス値との交点が1点以下となるか、又は、スライス値が予め設定された変更範囲の限界に達したかどうかを判定する。スライス値が小さくなりすぎると、 $S322$ で取得された近似関数とスライス値との交点が1点以下となる場合がある。 $S322$ で取得された近似関数とスライス値との交点が1点以下となるか、又は、スライス値が予め設定された変更範囲の限界に達した場合には、 $S320$ に移行する。一方、 $S322$ で取得された近似関数とスライス値との交点が1点以下ではなく、且つ、スライス値が予め設定された変更範囲の限界に達していない場合には、 $S332$ に移行する。

【0044】

$S332$ では、スライス値 $T1$ 、 $T2$ 及び $T3$ を変更する。具体的には、スライス値 $T1$ 、 $T2$ 及び $T3$ が小さくなるように、それぞれを所定量だけシフトさせる。例えば、スライス値 $T3$ は、 $T3 = 0.90 \times M$ から $T3 = 0.80 \times M$ に変更する。同様に、スライス値 $T1$ は、 $T1 = 0.95 \times M$ から $T1 = 0.85 \times M$ に変更し、スライス値 $T2$ は、 $T2 = 0.85 \times M$ から $T2 = 0.75 \times M$ に変更する。そして、 $S326$ に移行して、3つのフォーカス位置 $F1C$ 、 $F2C$ 及び $F3C$ を再度求める。

【0045】

$S334$ では、投影光学系7のベストフォーカス位置を決定する。本実施形態では、上述したように、フォーカス位置 $F3C$ が投影光学系7のベストフォーカス位置として妥当であるかを判定している。従って、 $S334$ に移行した場合には、 $S326$ で求めたフォーカス位置 $F3C$ を投影光学系7のベストフォーカス位置として決定(採用)する。

【0046】

図4(a)、図4(b)、図5(a)、図5(b)及び図6を参照して、図3に示す決定処理の $S322$ 、 $S324$ 及び $S326$ 、 $S328$ 、 $S332$ 及び $S334$ を具体的に説明する。

【0047】

図4(a)は、 $S322$ で取得される、 $S316$ で得られた計測パターンの計測値 L_i とテスト基板のフォーカス位置 F_i との関係を示す近似関数 CC の一例を示す図である。図4(a)では、縦軸は、計測パターンの計測値 L_i (線幅)を示し、横軸は、テスト基板のフォーカス位置 F_i (投影光学系7のベストフォーカス位置からのデフォーカス量)を示している。また、計測パターンの計測値 L_i は、約 $4 \mu m$ のフォーカスピッチで得られている。

【0048】

図4(b)は、図4(a)に示す近似関数 CC に対してスライス値 $T1$ 、 $T2$ 及び $T3$ を設定することで求められるフォーカス位置 $F1A$ 、 $F1B$ 、 $F1C$ 、 $F2A$ 、 $F2B$ 、 $F2C$ 、 $F3A$ 、 $F3B$ 及び $F3C$ の一例を示す図である。図4(b)では、縦軸は、計測パターンの計測値 L_i (線幅)を示し、横軸は、テスト基板のフォーカス位置 F_i (投影光学系7のベストフォーカス位置からのデフォーカス量)を示している。また、スライス値 $T1$ は、 $T1 = 0.95 \times M$ とし、スライス値 $T2$ は、 $T2 = 0.85 \times M$ とし、スライス値 $T3$ は、 $T3 = 0.90 \times M$ としている。

【0049】

図4(b)を参照するに、フォーカス位置 $F1C$ 、 $F2C$ 及び $F3C$ は、ほぼ同じである。従って、 $S328$ において、例えば、閾値 U を $U = 1 \mu m$ とすると、式(1)及び式(2)を満たす。この場合、 $S334$ に移行し、フォーカス位置 $F3C$ を投影光学系7のベストフォーカス位置として決定する。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 0 】

図 5 (a) は、 S 3 2 2 で取得される、 S 3 1 6 で得られた計測パターンの計測値 L_i とテスト基板のフォーカス位置 F_i との関係を示す近似関数 CC' の一例を示す図である。図 5 (a) では、縦軸は、計測パターンの計測値 L_i (線幅) を示し、横軸は、テスト基板のフォーカス位置 F_i (投影光学系 7 のベストフォーカス位置からのデフォーカス量) を示している。また、計測パターンの計測値 L_i は、約 $4 \mu m$ のフォーカスピッチで得られている。

【 0 0 5 1 】

図 5 (b) は、図 5 (a) に示す近似関数 CC' に対してスライス値 T_1' 、 T_2' 及び T_3' を設定することで求められるフォーカス位置 F_1A' 、 F_1B' 、 F_1C' 、 F_2A' 、 F_2B' 、 F_2C' 、 F_3A' 、 F_3B' 及び F_3C' の一例を示す図である。図 5 (b) では、縦軸は、計測パターンの計測値 L_i (線幅) を示し、横軸は、テスト基板のフォーカス位置 F_i (投影光学系 7 のベストフォーカス位置からのデフォーカス量) を示している。また、スライス値 T_1' は、 $T_1' = 0.95 \times M'$ とし、スライス値 T_2' は、 $T_2' = 0.85 \times M'$ とし、スライス値 T_3' は、 $T_3' = 0.90 \times M'$ としている。 M' は、近似関数 CC' の最大値である。

【 0 0 5 2 】

図 5 (b) を参照するに、フォーカス位置 F_1C' 、 F_2C' 及び F_3C' 間には、差が生じている。従って、 S 3 2 8 において、例えば、閾値 U を $U = 1 \mu m$ とすると、式 (1) 及び式 (2) を満たさない。この場合、 S 3 3 0 に移行し、更に、 S 3 3 2 に移行すると、スライス値に変更が加えられる。ここでは、スライス値 T_1' は、スライス値 $T_1'' (= 0.85 \times M')$ に変更され、スライス値 T_2' は、スライス値 $T_2'' (= 0.75 \times M')$ に変更され、スライス値 T_3' は、スライス値 $T_3'' (= 0.80 \times M')$ に変更されるものとする。

【 0 0 5 3 】

図 6 は、図 5 (a) に示す近似関数 CC' に対してスライス値 T_1'' 、 T_2'' 及び T_3'' を設定した場合を示している。この場合、フォーカス位置 F_1A'' 、 F_1B'' 、 F_1C'' 、 F_2A'' 、 F_2B'' 、 F_2C'' 、 F_3A'' 、 F_3B'' 及び F_3C'' が求まる。図 6 では、縦軸は計測パターンの計測値 L_i (線幅) を示し、横軸は、テスト基板のフォーカス位置 F_i (投影光学系 7 のベストフォーカス位置からのデフォーカス量) を示している。

【 0 0 5 4 】

図 6 を参照するに、フォーカス位置 F_1C'' 、 F_2C'' 及び F_3C'' は、ほぼ同じである。従って、 S 3 2 8 において、式 (1) 及び式 (2) を満たす。この場合、 S 3 3 4 に移行し、フォーカス位置 F_3C'' を投影光学系 7 のベストフォーカス位置として決定する。

【 0 0 5 5 】

このように、本実施形態では、計測パターンの計測結果とフォーカス位置との関係を示す近似関数から求まるベストフォーカス位置の信頼性を定量的に評価している。従って、近似関数が非対称な形状を有している場合であっても、真値との差が大きいフォーカス位置を投影光学系 7 のベストフォーカス位置とすることを回避し、真値に近いフォーカス位置を投影光学系 7 のベストフォーカス位置として決定することができる。換言すれば、本実施形態では、従来技術と比較して、投影光学系 7 のベストフォーカス位置を高精度に求めることができる。

【 0 0 5 6 】

また、本実施形態における投影光学系 7 のベストフォーカス位置を決定する決定処理は、図 3 を参照して説明した手法に限定されず、種々の手法を採用することが可能である。例えば、スライス値 T_1 、 T_2 及び T_3 の設定は、近似関数の最大値からの割合ではなく、固定値 (ベストフォーカス位置の設定値など) からの割合としてもよい。

【 0 0 5 7 】

また、 S 3 0 4 乃至 S 3 1 0 において、テスト基板のフォーカス位置を変更しながら露光する代わりに、テスト基板を保持している基板ステージ 6 2 を、 X Y 平面から一定量傾い

た方向に走査しながら露光してもよい。これにより、異なるフォーカス位置での露光を１つのショット領域内に一括して行うことができる。

【００５８】

また、Ｓ３０２に戻って、テスト基板への露光をやり直す場合には、同一の計測パターンを再度転写するのではなく、かかる計測パターンと同一の方向に延在し、且つ、異なる線幅を有する計測パターンを転写するようにしてもよい。例えば、現像プロセスなどの要因で計測パターンに対応するレジスト像が正しく形成できていない場合には、より大きい線幅を有する計測パターンを用いることで、計測パターンに対応するレジスト像が正しく形成できる。

【００５９】

また、Ｓ３２８において、式（１）及び式（２）の少なくとも一方を満たさない場合に、Ｓ３３０に移行するのではなく、Ｓ３０２に戻って、テスト基板への露光をやり直してもよい。この場合、上述したように、同一の方向に延在し、且つ、異なる線幅を有する計測パターンを用いてもよい。なお、同一の方向に延在し、且つ、異なる線幅を有する別の計測パターンがテスト基板に既に転写されている場合には、露光は不要であるため、Ｓ３１６に移行して、別の計測パターンの線幅を計測すればよい。

【００６０】

また、Ｓ３２８において、式（１）及び式（２）に代えて、以下の式（３）を用いてもよい。そして、式（３）を満たしている場合には、Ｓ３３２に移行し、式（３）を満たしていない場合には、Ｓ３３０に移行する。

【００６１】

| F 1 C - F 2 C | U . . . (3)

式（３）を用いる場合には、Ｓ３３４において、フォーカス位置 F 3 C を投影光学系 7 のベストフォーカス位置としてもよいが、これに限定されるものではない。換言すれば、フォーカス位置 F 3 C 以外のフォーカス位置を投影光学系 7 のベストフォーカス位置とすることも可能である。例えば、フォーカス位置 F 1 C とフォーカス位置 F 2 C との間に位置し、且つ、フォーカス位置 F 3 C ではないフォーカス位置を投影光学系 7 のベストフォーカス位置としてもよい。具体的には、フォーカス位置 F 1 C とフォーカス位置 F 2 C との中点に対応するフォーカス位置を投影光学系 7 のベストフォーカス位置としてもよい。また、図 7 に示すように、近似関数 C C とスライス値 T 3 とがなす閉領域 4 0 0 の重心位置 F 4 を求め、重心位置 F 4 に対応するフォーカス位置を投影光学系 7 のベストフォーカス位置としてもよい。図 7 に示すように、閉領域 4 0 0 は、近似関数 C C と、近似関数 C C とスライス値 T 3 とが交差する 2 つの点を結ぶ線分とによって規定され、重心位置 F 4 を示す直線によって、領域 4 0 1 と領域 4 0 2 とに分割される。重心位置 F 4 は、領域 4 0 1 の面積と領域 4 0 2 の面積とが等しくなるように定められる。

【００６２】

また、図 3 では、計測パターンをテスト基板に転写する場合を例に説明した。但し、図 8 に示すように、基板ステージ 6 2 に設けられたセンサ 6 3 によって、計測パターンの像の線幅を計測してもよい。センサ 6 3 は、投影光学系 7 を介して、計測パターンの像を検出して、かかる計測パターンの像の線幅を出力（計測）する。また、センサ 6 3 は、計測パターンの像の線幅ではなく、計測パターンの像の光強度プロファイル（最大光強度）を計測してもよい。なお、センサ 6 3 は、基板ステージ 6 2 から独立して構成されていてもよい。

【００６３】

露光装置 1 0 0 における露光処理（露光方法）について説明する。まず、上述した決定方法によって、投影光学系 7 のベストフォーカス位置を決定する。次いで、投影光学系 7 のベストフォーカス位置に基づいて、露光装置 1 0 0 の各部を調整する。具体的には、投影光学系 7 のベストフォーカス位置と基板 6 1 の表面位置とを一致させるように、露光装置 1 0 0 の各部を調整する。かかる調整は、基板ステージ 6 2 の位置及び姿勢の少なくとも 1 つを調整すること、及び、投影光学系 7 に含まれる光学素子の位置、姿勢及び面形状の

10

20

30

40

50

少なくとも１つを調整することの少なくとも一方を含む。そして、投影光学系 7 のベストフォーカス位置と基板 6 1 の表面位置とを一致させた状態で、投影光学系 7 を介して基板 6 1 を露光してマスク 2 1 のパターンを基板 6 1 に転写する。このように、露光装置 1 0 0 では、投影光学系 7 のベストフォーカス位置と基板 6 1 の表面位置とを一致させた状態で露光を行うことができるため、所望のパターンの像を基板上に形成することができる。

【 0 0 6 4 】

本発明の実施形態における物品の製造方法は、例えば、デバイス（半導体素子、磁気記憶媒体、液晶表示素子など）、カラーフィルタ、光学部品、MEMSなどの物品を製造するのに好適である。かかる製造方法は、露光装置 1 0 0 を用いて、上述した実施形態の露光方法によって、感光剤が塗布された基板を露光する工程と、露光された感光剤を現像する工程とを含む。また、現像された感光剤のパターンをマスクとして基板に対してエッチング工程やイオン注入工程などを行い、基板上に回路パターンが形成される。これらの露光、現像、エッチングなどの工程を繰り返して、基板上に複数の層からなる回路パターンを形成する。後工程で、回路パターンが形成された基板に対してダイシング（加工）を行い、チップのマウンティング、ボンディング、検査工程を行う。また、かかる製造方法は、他の周知の工程（酸化、成膜、蒸着、ドーピング、平坦化、レジスト剥離など）を含みうる。本実施形態における物品の製造方法は、従来に比べて、物品の性能、品質、生産性及び生産コストの少なくとも１つにおいて有利である。

【 0 0 6 5 】

本発明は、上述の実施形態の１つ以上の機能を実現するプログラムを、ネットワーク又は記憶媒体を介してシステム又は装置に供給し、そのシステム又は装置のコンピュータにおける１つ以上のプロセッサがプログラムを読み出し実行する処理でも実現可能である。また、１つ以上の機能を実現する回路（例えば、ASIC）によっても実現可能である。

【 0 0 6 6 】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【符号の説明】

【 0 0 6 7 】

1 0 0 : 露光装置 7 : 投影光学系 1 0 : 計測パターン群 6 1 : 基板 8 0 : 制御部
1 0 1 乃至 1 0 4 : 計測パターン

10

20

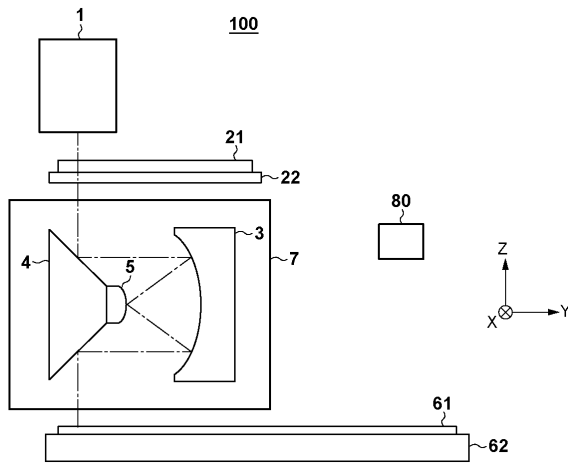
30

40

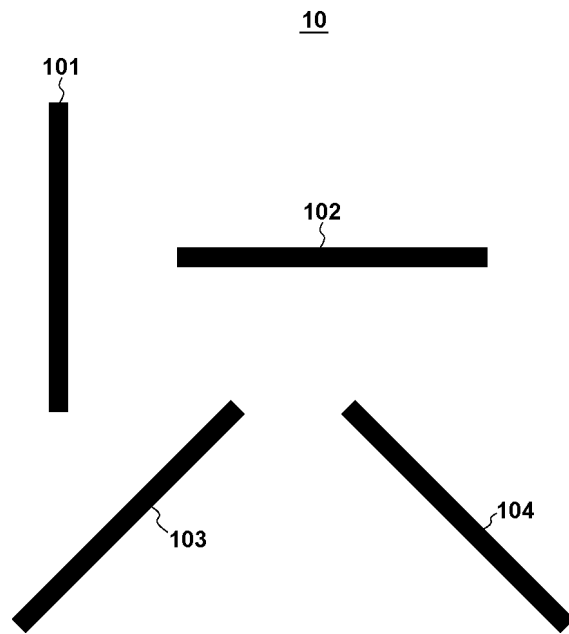
50

【図面】

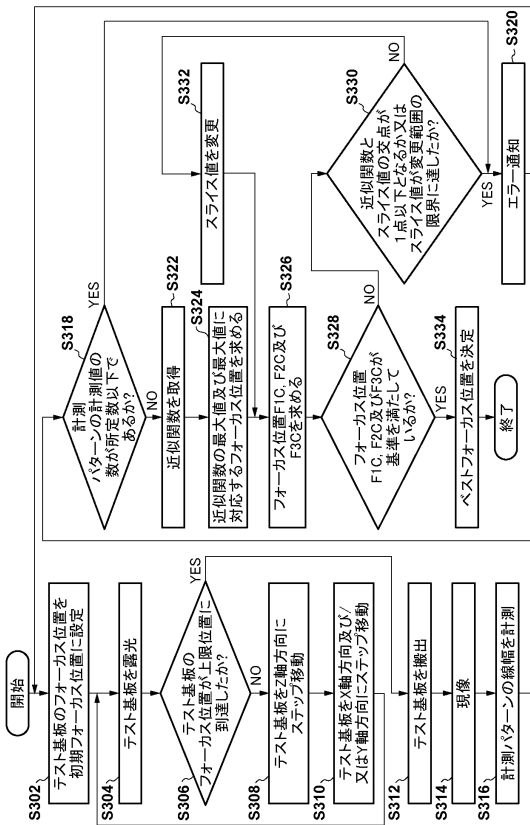
【図 1】



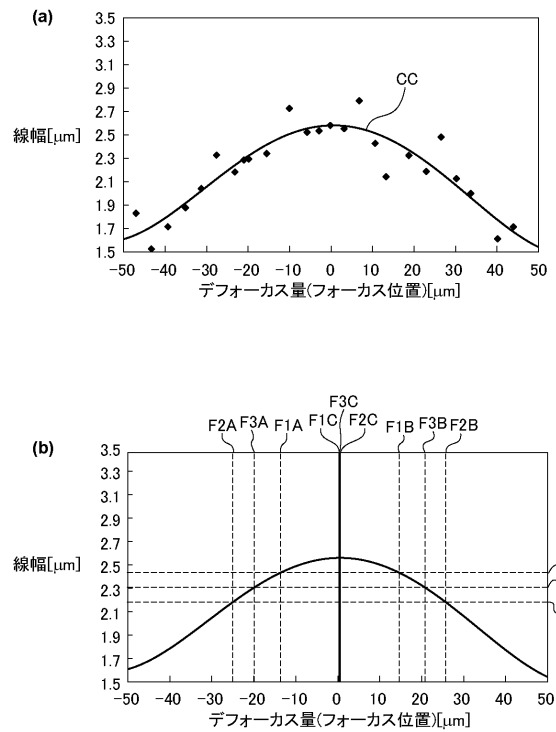
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

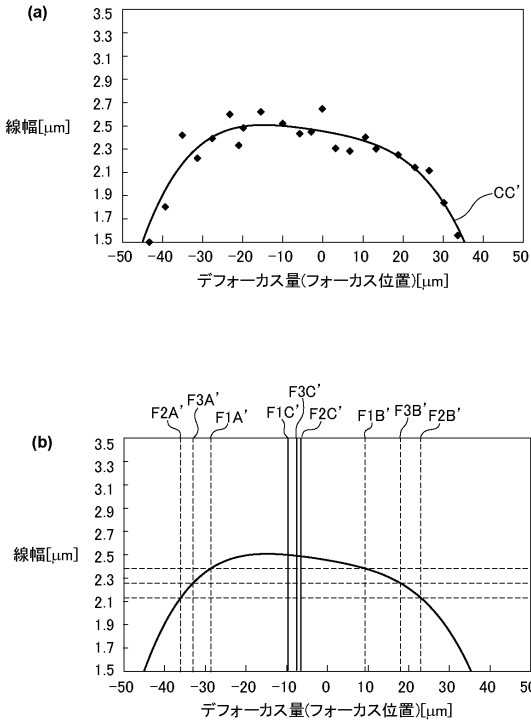
20

30

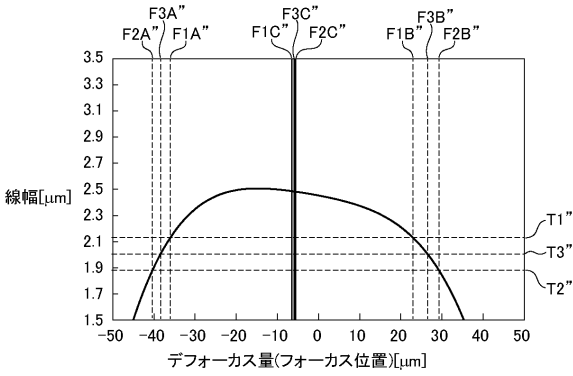
40

50

【図 5】



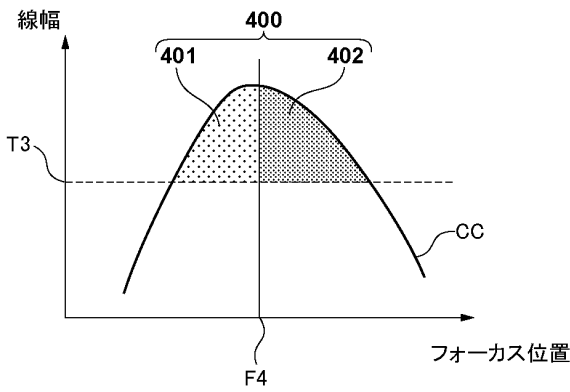
【図 6】



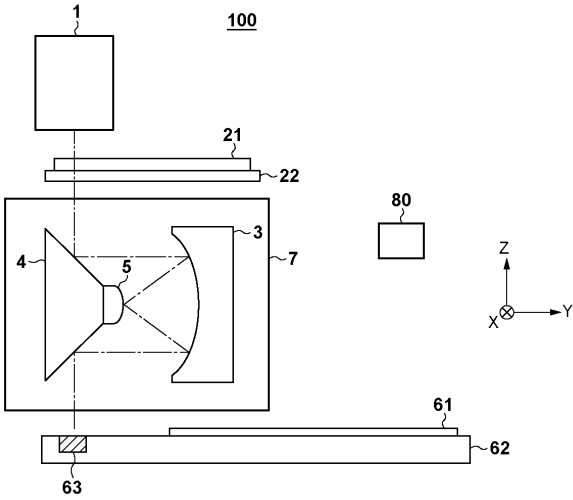
10

20

【図 7】



【図 8】



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平 0 6 - 3 2 6 0 0 0 (J P , A)
 特開 2 0 0 2 - 2 6 0 9 8 6 (J P , A)
 特開 2 0 0 3 - 0 8 6 4 9 8 (J P , A)
 米国特許出願公開第 2 0 0 3 / 0 1 7 0 5 5 2 (U S , A 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- H 0 1 L 2 1 / 0 2 7
 G 0 3 F 7 / 2 0