

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-311080

(P2005-311080A)

(43) 公開日 平成17年11月4日(2005.11.4)

(51) Int.Cl.⁷

H01L 21/027

G01M 11/02

G03F 7/20

F I

H01L 21/30

G01M 11/02

G03F 7/20

H01L 21/30

516A

B

521

517

テーマコード (参考)

2G086

5F046

審査請求 未請求 請求項の数 21 O L (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2004-126049 (P2004-126049)

(22) 出願日 平成16年4月21日 (2004.4.21)

(71) 出願人 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 100110412

弁理士 藤元 亮輔

(72) 発明者 大久保 彰律

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

Fターム(参考) 2G086 HH05 HH06

5F046 BA03 BA05 DA13 DB01 DB11

DC04 DC10 GA03 GA14 GC03

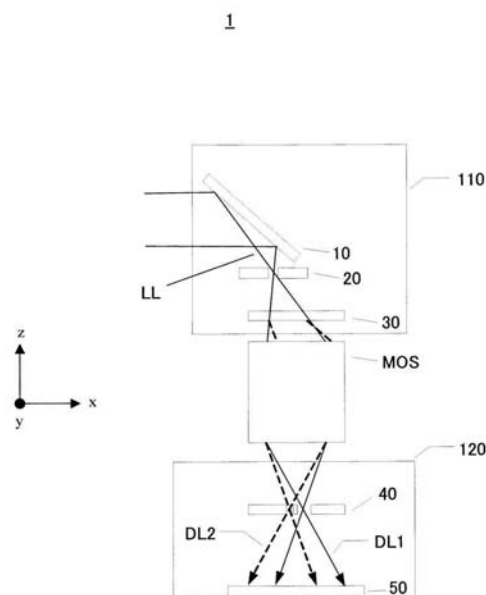
(54) 【発明の名称】 測定装置、当該測定装置を有する露光装置

(57) 【要約】

【課題】 微小開口で形成される参照波面と理想波面との誤差を低減し、光学系の光学性能（波面収差など）を高精度に測定することが可能な測定装置、当該測定装置を有する露光装置を提供する。

【解決手段】 光を用いて被検光学系の光学性能を測定する測定装置であって、第1の理想波面を生成する第1のパターン部材と、第2の理想波面を生成すると共に、前記被検光学系の前記光学性能を反映する被検波面を生成する第2のパターン部材と、前記第2のパターン部材を経た前記第2の理想波面と前記被検波面との干渉縞を検出する検出部とを有し、前記第1のパターン部材及び／又は前記第2のパターン部材は、前記光を回折する第1の開口を有する第1の膜と、前記第1の開口を経た前記光を回折する第2の開口を有し、前記第2の開口が前記第1の開口と重なるように、且つ、前記第1の膜と一定距離の空間を有して配置される第2の膜とを有することを特徴とする測定装置を提供する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光を用いて被検光学系の光学性能を測定する測定装置であって、
 第 1 の理想波面を生成する第 1 のパターン部材と、
 第 2 の理想波面を生成すると共に、前記被検光学系の前記光学性能を反映する被検波面を生成する第 2 のパターン部材と、
 前記第 2 のパターン部材を経た前記第 2 の理想波面と前記被検波面との干渉縞を検出する検出部とを有し、
 前記第 1 のパターン部材及び / 又は前記第 2 のパターン部材は、前記光を回折する第 1 の開口を有する第 1 の膜と、
 前記第 1 の開口を経た前記光を回折する第 2 の開口を有し、前記第 2 の開口が前記第 1 の開口と重なるように、且つ、前記第 1 の膜と一定距離の空間を有して配置される第 2 の膜とを有することを特徴とする測定装置。

10

【請求項 2】

前記第 1 の膜及び前記第 2 の膜に接続し、前記空間を保持する保持部材を更に有することを特徴とする請求項 1 記載の測定装置。

【請求項 3】

前記第 1 の開口及び前記第 2 の開口は、スリット形状又は円形状であることを特徴とする請求項 1 記載の測定装置。

【請求項 4】

光を用いて被検光学系の光学性能を測定する測定装置であって、
 第 1 の理想波面を生成する第 1 のパターン部材と、
 第 2 の理想波面を生成すると共に、前記被検光学系の前記光学性能を反映する被検波面を生成する第 2 のパターン部材と、
 前記第 2 のパターン部材を経た前記第 2 の理想波面と前記被検波面との干渉縞を検出する検出部とを有し、
 前記第 1 のパターン部材及び / 又は前記第 2 のパターン部材は、前記光を回折する第 1 の開口を有する第 1 の膜と、
 前記第 1 の開口を経た前記光を回折する第 2 の開口を有する第 2 の膜と、
 前記第 1 の開口を経た前記光を前記第 2 の開口に伝播する第 3 の開口を有し、前記第 1 の膜と前記第 2 の膜との間に配置され、前記第 1 の開口と前記第 2 の開口が重なるように前記第 1 の膜と前記第 2 の膜とを接続する第 3 の膜とを有し、
 前記第 1 の膜の消衰係数を k_1 、前記第 2 の膜の消衰係数を k_2 、前記第 3 の膜の消衰係数を k_3 としたとき、 $k_1 > k_3$ 、且つ、 $k_2 > k_3$ を満足することを特徴とする測定装置。

20

【請求項 5】

前記第 1 の開口の中心と前記第 2 の開口の中心は、一致していることを特徴とする請求項 1 又は 4 記載の測定装置。

【請求項 6】

前記第 1 の開口、前記第 2 の開口及び前記第 3 の開口は、スリット形状又は円形状を有することを特徴とする請求項 4 記載の測定装置。

40

【請求項 7】

前記スリット形状の幅は、前記光の波長を λ 、前記被検光学系の開口数を NA としたときに、 λ / NA 以下であることを特徴とする請求項 6 記載の測定装置。

【請求項 8】

前記円形状の直径は、前記光の波長を λ 、前記被検光学系の開口数を NA としたときに、 $1.22 \times \lambda / NA$ 以下であることを特徴とする請求項 6 記載の測定装置。

【請求項 9】

前記第 3 の膜の厚さは、前記光の波長を λ 、前記第 3 の開口の最大の幅を a 、前記第 3 の膜の複素屈折率実部を n としたときに、 $n \times a^2 / (4 \lambda)$ 以上であることを特徴とす

50

る請求項 4 記載の測定装置。

【請求項 10】

前記第 1 の膜の厚さは、前記光の波長を λ 、前記第 1 の膜の消衰係数を k_1 としたときに、 $\lambda / (2\pi k_1)$ 以上であることを特徴とする請求項 4 記載の測定装置。

【請求項 11】

前記第 2 の膜の厚さは、前記光の波長を λ 、前記第 2 の膜の消衰係数を k_2 としたときに、 $1.727\lambda / (\pi k_2)$ 以上であることを特徴とする請求項 4 記載の測定装置。

【請求項 12】

前記第 1 の膜の第 1 の開口及び前記第 2 の膜の第 2 の開口は、スリット形状を有し、
前記第 1 の膜のスリット形状の幅は、前記第 3 のスリット形状の幅よりも小さいことを
特徴とする請求項 4 記載の測定装置。 10

【請求項 13】

前記第 1 の膜の第 1 の開口及び前記第 2 の膜の第 2 の開口は、円形状を有し、
前記第 1 の円形状の直径は、前記第 2 の膜の円形状の直径よりも小さいことを特徴とす
る請求項 4 記載の測定装置。

【請求項 14】

光を用いて被検光学系の光学性能を測定する測定装置であって、
前記光から理想波面を生成する第 1 の開口を有する第 1 の膜と、前記第 1 の開口を経た
前記光から理想波面を生成する第 2 の開口を有し、前記第 1 の開口が前記第 1 の開口と重
なるように、且つ、前記第 1 の膜と一定距離の空間を有して配置される第 2 の膜とを有す
るパターン部材と、
前記第 2 の開口を経た理想波面と前記被検光学系の前記光学性能を反映する被検波面と
の干渉縞を検出する検出部とを有することを特徴とする測定装置。 20

【請求項 15】

光を用いて被検光学系の光学性能を測定する測定装置であって、
前記光から理想波面を生成する第 1 の開口を有する第 1 の膜と、前記第 1 の開口を経た
前記光から理想波面を生成する第 2 の開口を有する第 2 の膜と、前記第 1 の開口を経た前
記光を前記第 2 の開口に伝播する第 3 の開口を有し、前記第 1 の膜と前記第 2 の膜との間
に配置され、前記第 1 の開口と前記第 2 の開口が重なるように前記第 1 の膜と前記第 2 の
膜とを接続する第 3 の膜とを有するパターン部材と、
前記第 2 の開口を経た理想波面と前記被検光学系の前記光学性能を反映する被検波面と
の干渉縞を検出する検出部とを有し、
前記第 1 の膜の消衰係数を k_1 、前記第 2 の膜の消衰係数を k_2 、前記第 3 の膜の消衰
係数を k_3 としたとき、 $k_1 > k_3$ 、且つ、 $k_2 > k_3$ を満足することを特徴とする測定
装置。 30

【請求項 16】

レチクルに形成されたパターンを被処理体に露光する露光装置であって、
請求項 1 乃至 15 のうちいずれか一項記載の測定装置で測定された光学特性が所望の値
以上であり、前記パターンを前記被処理体に投影する投影光学系を有することを特徴とす
る露光装置。 40

【請求項 17】

光源からの光を用いてレチクルに形成されたパターンを被処理体に露光する露光装置で
あって、
前記パターンを投影する投影光学系と、
前記光を利用して前記投影光学系の光学性能を干渉縞として検出する測定装置とを有し
、
前記測定装置は、第 1 の理想波面を生成する第 1 のパターン部材と、
第 2 の理想波面を生成すると共に、前記投影光学系の前記光学性能を反映する被検波面
を生成する第 2 のパターン部材と、
前記第 2 のパターン部材を経た前記第 2 の理想波面と前記被検波面との干渉縞を検出す
50

る検出部とを有し、

前記第 1 のパターン部材及び / 又は前記第 2 のパターン部材は、前記光を回折する第 1 の開口を有する第 1 の膜と、

前記第 1 の開口を経た前記光を回折する第 2 の開口を有し、前記第 2 の開口が前記第 1 の開口と重なるように、且つ、前記第 1 の膜と一定距離の空間を有して配置される第 2 の膜とを有することを特徴とする露光装置。

【請求項 18】

光源からの光を用いてレチクルに形成されたパターンを被処理体に露光する露光装置であって、

前記パターンを投影する投影光学系と、

10

前記光を利用して前記投影光学系の光学性能を測定する測定装置とを有し、

前記測定装置は、第 1 の理想波面を生成する第 1 のパターン部材と、

第 2 の理想波面を生成すると共に、前記投影光学系の前記光学性能を反映する被検波面を生成する第 2 のパターン部材と、

前記第 2 のパターン部材を経た前記第 2 の理想波面と前記被検波面との干渉縞を検出する検出部とを有し、

前記第 1 のパターン部材及び / 又は前記第 2 のパターン部材は、前記光を回折する第 1 の開口を有する第 1 の膜と、

前記第 1 の開口を経た前記光を回折する第 2 の開口を有する第 2 の膜と、

前記第 1 の開口を経た前記光を前記第 2 の開口に伝播する第 3 の開口を有し、前記第 1 の膜と前記第 2 の膜との間に配置され、前記第 1 の開口と前記第 2 の開口が重なるように前記第 1 の膜と前記第 2 の膜とを接続する第 3 の膜とを有し、

20

前記第 1 の膜の消衰係数を k_1 、前記第 2 の膜の消衰係数を k_2 、前記第 3 の膜の消衰係数を k_3 としたとき、 $k_1 > k_3$ 、且つ、 $k_2 > k_3$ を満足することを特徴とする露光装置。

【請求項 19】

前記レチクルを照明する照明光学系を更に有し、

前記照明光学系は、前記測定装置の一部を兼ねていることを特徴とする請求項 17 又は 18 記載の露光装置。

【請求項 20】

30

請求項 1 乃至 15 のうちいずれか一項記載の測定装置を用いて投影光学系の光学性能を算出するステップと、

算出された前記投影光学系の前記光学性能に基づいて、前記投影光学系を調節するステップと、

調節された前記投影光学系を有する露光装置を用いて被処理体を露光するステップとを有することを特徴とする露光方法。

【請求項 21】

請求項 16 乃至 19 のうちいずれか一項記載の露光装置を用いて被処理体を露光するステップと、

露光された前記被処理体を現像するステップとを有することを特徴とするデバイス製造方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般には、光学部材の性能を測定する測定装置に係り、特に、レチクル上のパターンを被処理体に転写する投影光学系などの波面を測定装置を搭載した露光装置に関する。

【背景技術】

【0002】

フォトリソグラフィ（焼き付け）技術を用いて IC や LSI 等の半導体デバイスや C

50

C D等の撮像デバイスや液晶パネル等の表示デバイスや磁気ヘッド等のデバイスを製造する際に、レチクル(マスク)に描画された回路パターンを投影光学系によってウェハ等に投影して回路パターンを転写する投影露光装置が従来から使用されている。かかる露光装置は、レチクル上のパターンを所定の倍率で正確にウェハに転写されることが要求されるため、結像性能のよい、収差を抑えた高精度な投影光学系を用いることが重要である。光学系の精度を表す波面収差RMS(Root Mean Square)値は、一般的に、Marshall Criterionから $\lambda/14$ 以下にする必要がある。ここで、 λ は光源の波長である。

【0003】

特に近年、半導体デバイスの一層の微細化の要求により、研究開発の進んでいる波長 $\lambda = 13.5\text{ nm}$ 近傍のEUV(Extreme Ultraviolet)光を用いた露光装置(以下、「EUV露光装置」と称する。)には、 n 枚のミラーで構成される反射型の光学系が使用される。この場合、ミラー1枚あたり、 $\lambda/(28\sqrt{n})$ の形状精度が要求され、6枚のミラーで構成される光学系を考えると、面加工精度を 0.2 nm RMS 程度にする必要がある。

【0004】

このような高精度な面形状は、計測精度が十分でないために従来の面精度測定装置では測定することができない。そのため、理想球面波を形成するためのピンホールを有する点回折干渉計(Point Diffraction Interferometer: PDI)や、理想円柱波又は理想楕円波を形成するためのスリットを有する線回折干渉計(Line Diffraction Interferometer: LDI)を利用し、 0.1 nm RMS 程度の高い計測精度を達成する測定装置が提案されている(例えば、非特許文献1参照。)

【0005】

ピンホールやスリットなどの微小開口から形成される参照波面と被検波面とを干渉させる方式のPDIやLDIを利用した測定装置では、開口で形成される参照波面と理想球面波や理想円筒波との誤差(以下、「参照波面偏差」と称する。)が測定誤差に影響を与える。かかる参照波面偏差は、ピンホール又はスリットの光軸(中心)と入射光の光軸とのずれ(光軸ずれ)によって生じる。光軸ずれが生じると、ピンホール又はスリットのエッジに引っ掛かりながら入射する光とピンホール又はスリットのエッジに引っ掛からずに入射する光との間に光路差が発生し、射出される参照波面が乱れるからである。また、十分に小さく、完全遮光体で厚みを持たないピンホール又はスリットからは理想球面波及び理想円筒波が形成されるが、実際のピンホール又はスリットは有限の厚みを持つため、発生する波面は参照波面偏差を有する。

【0006】

従って、参照波面偏差を低減するために、開口の大きさを可能な限り小さくすると共に、開口の中心と入射光の光軸とを精度よく位置合わせする必要がある。この影響に対しては、光軸ずれや波面収差を変化させてピンホールから射出する波面を算出し、かかる波面を参照波面として用いた場合における測定誤差増加の問題提起がなされている(例えば、非特許文献2参照。)

【非特許文献1】村上 勝彦著 「OpplusE」 新技術コミュニケーションズ 2004年1月号 Vol.26 No.1 43頁乃至47頁

【非特許文献2】Y. Sekine, A. Suzuki, M. Hasegawa, H. Kondo, M. Ishii, J. Kawakami, T. Oshino, K. Sugisaki, Y. Zhu, K. Otaki, Z. Liu, 「Wave-front errors of reference spherical waves in high-numerical aperture point diffraction interferometers」、J. Vac. Sci. Technol. B 22(1) 2004

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

従来は、干渉計の測定に用いる光の波長が可視光の領域にあり、測定精度もそれほど高いものは要求されていなかったため、参照波面偏差が測定精度に与える影響を無視することができた。

【0008】

しかし、EUV露光装置に用いる投影光学系などでは、高精度な波面収差の測定が要求され、参照波面偏差が測定精度に与える影響を無視できなくなってきた。また、EUV光などの波長の短い光は、微小開口が形成される部材（例えば、遮光膜など）を透過して微小開口に漏れだしてしまうため、光軸ずれと同様に、微小開口に漏れた光と微小開口に入射した光との間に光路差が生じ、参照波面を乱す原因となる。なお、微小開口を形成する部材を厚くすることでEUV光の微小開口への漏れの影響を低減することは可能であるが、理想球面波又は理想円筒波に近い参照波面を形成するために必要となる微小開口をより一層小さく、より薄くという要求と矛盾する。

10

【0009】

一方、非特許文献2に開示されているように、従来の微小開口から射出される参照波面は、光軸ずれなどにより波面偏差が増加するため、測定精度に与える影響が無視できない。ゆえに、測定精度の向上のためには、理想球面波又は理想円筒波にできる限り近い参照波面を発生させる微小開口を用いることが好ましい。

【0010】

このように、従来の測定装置では、高精度な光学系を提供するにあたり必須となる高精度な収差測定を行うことができない。換言すれば、従来の測定装置は、光学系の高精度化に伴って要求される測定精度を満足していない。

20

【0011】

そこで、本発明は、微小開口で形成される参照波面と理想波面との誤差を低減し、光学系の光学性能（波面収差など）を高精度に測定することが可能な測定装置、当該測定装置を有する露光装置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】

【0012】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての測定装置は、光を用いて被検光学系の光学性能を測定する測定装置であって、第1の理想波面を生成する第1のパターン部材と、第2の理想波面を生成すると共に、前記被検光学系の前記光学性能を反映する被検波面を生成する第2のパターン部材と、前記第2のパターン部材を経た前記第2の理想波面と前記被検波面との干渉縞を検出する検出部とを有し、前記第1のパターン部材及び/又は前記第2のパターン部材は、前記光を回折する第1の開口を有する第1の膜と、前記第1の開口を経た前記光を回折する第2の開口を有し、前記第2の開口が前記第1の開口と重なるように、且つ、前記第1の膜と一定距離の空間を有して配置される第2の膜とを有することを特徴とする。

30

【0013】

本発明の別の側面としての測定装置は、光を用いて被検光学系の光学性能を測定する測定装置であって、第1の理想波面を生成する第1のパターン部材と、第2の理想波面を生成すると共に、前記被検光学系の前記光学性能を反映する被検波面を生成する第2のパターン部材と、前記第2のパターン部材を経た前記第2の理想波面と前記被検波面との干渉縞を検出する検出部とを有し、前記第1のパターン部材及び/又は前記第2のパターン部材は、前記光を回折する第1の開口を有する第1の膜と、前記第1の開口を経た前記光を回折する第2の開口を有する第2の膜と、前記第1の開口を経た前記光を前記第2の開口に伝播する第3の開口を有し、前記第1の膜と前記第2の膜との間に配置され、前記第1の開口と前記第2の開口が重なるように前記第1の膜と前記第2の膜とを接続する第3の膜とを有し、前記第1の膜の消衰係数を k_1 、前記第2の膜の消衰係数を k_2 、前記第3の膜の消衰係数を k_3 としたとき、 $k_1 > k_3$ 、且つ、 $k_2 > k_3$ を満足することを特徴

40

50

とする。

【0014】

本発明の更に別の側面としての測定装置は、光を用いて被検光学系の光学性能を測定する測定装置であって、前記光から理想波面を生成する第1の開口を有する第1の膜と、前記第1の開口を経た前記光から理想波面を生成する第2の開口を有し、前記第1の開口が前記第1の開口と重なるように、且つ、前記第1の膜と一定距離の空間を有して配置される第2の膜とを有するパターン部材と、前記第2の開口を経た理想波面と前記被検光学系の前記光学性能を反映する被検波面との干渉縞を検出する検出部とを有することを特徴とする。

【0015】

本発明の更に別の側面としての測定装置は、光を用いて被検光学系の光学性能を測定する測定装置であって、

前記光から理想波面を生成する第1の開口を有する第1の膜と、前記第1の開口を経た前記光から理想波面を生成する第2の開口を有する第2の膜と、前記第1の開口を経た前記光を前記第2の開口に伝播する第3の開口を有し、前記第1の膜と前記第2の膜との間に配置され、前記第1の開口と前記第2の開口が重なるように前記第1の膜と前記第2の膜とを接続する第3の膜とを有するパターン部材と、前記第2の開口を経た理想波面と前記被検光学系の前記光学性能を反映する被検波面との干渉縞を検出する検出部とを有し、前記第1の膜の消衰係数を k_1 、前記第2の膜の消衰係数を k_2 、前記第3の膜の消衰係数を k_3 としたとき、 $k_1 > k_3$ 、且つ、 $k_2 > k_3$ を満足することを特徴とする。

【0016】

本発明の更に別の側面としての露光装置は、レチクルに形成されたパターンを被処理体に露光する露光装置であって、上述の測定装置で測定された光学特性が所望の値以上であり、前記パターンを前記被処理体に投影する投影光学系を有することを特徴とする。

【0017】

本発明の更に別の側面としての露光装置は、光源からの光を用いてレチクルに形成されたパターンを被処理体に露光する露光装置であって、前記パターンを投影する投影光学系と、前記光を利用して前記投影光学系の光学性能を干渉縞として検出する測定装置とを有し、前記測定装置は、第1の理想波面を生成する第1のパターン部材と、第2の理想波面を生成すると共に、前記投影光学系の前記光学性能を反映する被検波面を生成する第2のパターン部材と、前記第2のパターン部材を経た前記第2の理想波面と前記被検波面との干渉縞を検出する検出部とを有し、前記第1のパターン部材及び/又は前記第2のパターン部材は、前記光を回折する第1の開口を有する第1の膜と、前記第1の開口を経た前記光を回折する第2の開口を有し、前記第2の開口が前記第1の開口と重なるように、且つ、前記第1の膜と一定距離の空間を有して配置される第2の膜とを有することを特徴とする。

【0018】

本発明の更に別の側面としての露光装置は、光源からの光を用いてレチクルに形成されたパターンを被処理体に露光する露光装置であって、前記パターンを投影する投影光学系と、前記光を利用して前記投影光学系の光学性能を測定する測定装置とを有し、前記測定装置は、第1の理想波面を生成する第1のパターン部材と、第2の理想波面を生成すると共に、前記投影光学系の前記光学性能を反映する被検波面を生成する第2のパターン部材と、前記第2のパターン部材を経た前記第2の理想波面と前記被検波面との干渉縞を検出する検出部とを有し、前記第1のパターン部材及び/又は前記第2のパターン部材は、前記光を回折する第1の開口を有する第1の膜と、前記第1の開口を経た前記光を回折する第2の開口を有する第2の膜と、前記第1の開口を経た前記光を前記第2の開口に伝播する第3の開口を有し、前記第1の膜と前記第2の膜との間に配置され、前記第1の開口と前記第2の開口が重なるように前記第1の膜と前記第2の膜とを接続する第3の膜とを有し、前記第1の膜の消衰係数を k_1 、前記第2の膜の消衰係数を k_2 、前記第3の膜の消衰係数を k_3 としたとき、 $k_1 > k_3$ 、且つ、 $k_2 > k_3$ を満足することを特徴とする。

【 0 0 1 9 】

本発明の更に別の側面としての露光方法は、上述の測定装置を用いて投影光学系の光学性能を算出するステップと、算出された前記投影光学系の前記光学性能に基づいて、前記投影光学系を調節するステップと、調節された前記投影光学系を有する露光装置を用いて被処理体を露光するステップとを有することを特徴とする。

【 0 0 2 0 】

本発明の更に別の側面としてのデバイス製造方法は、上述の露光装置を用いて被処理体を露光するステップと、露光された前記被処理体を現像するステップとを有することを特徴とする。

【 0 0 2 1 】

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

【 発明の効果 】

【 0 0 2 2 】

本発明によれば、微小開口で形成される参照波面と理想波面との誤差を低減し、光学系の光学性能（波面収差など）を高精度に測定することが可能な測定装置、当該測定装置を有する露光装置を提供することができる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 2 3 】

以下、添付図面を参照して、本発明の一側面としての測定装置 1 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。図 1 は、測定装置 1 の構成を示す概略ブロック図である。図 2 は、測定装置 1 を構成する一部の要素の概略平面図であって、図 2 (a) は第 1 のマスク 2 0 の平面図、図 2 (b) はグレーディング 3 0 の平面図、図 2 (c) は第 2 のマスク 4 0 の平面図である。

【 0 0 2 4 】

測定装置 1 は、被検光学系 M O S の光学特性を干渉縞を検出することによって測定する測定装置である。測定装置 1 は、本実施形態では、P D I を利用して被検光学系 M O S の波面収差を測定する。

【 0 0 2 5 】

測定装置 1 は、図 1 に示すように、照明ユニット 1 1 0 と受光ユニット 1 2 0 とで構成される。M O S は被検光学系である。照明ユニット 1 1 0 は、照明光 L L を射出する照明光学系 1 0 と、第 1 のパターン部材としての第 1 のマスク 2 0 と、照明光 L L を回折するグレーディング 3 0 を有する。尚、光源は不図示である。受光ユニット 1 2 0 は、第 2 のパターン部材としての第 2 のマスク 4 0 と、C C D などの受光素子で構成される検出部 5 0 とを有する。なお、D L 1 は、グレーディング 3 0 による回折光の一であり、被検光学系 M O S を透過した後、第 2 のマスク 4 0 の透過窓 4 4 を透過する光である。D L 2 は、グレーディング 3 0 による回折光の一であって、回折光 D L 1 とは別の回折次数を有し、第 2 のマスク 4 0 の第 2 のピンホール 4 2 に照射され、第 2 のピンホール 4 2 から発生する光である。

【 0 0 2 6 】

照明光学系 1 0 は、本実施形態では、光学素子で構成され、被検光学系 M O S より大きな波面収差を有している可能性が高い。そこで、図 2 に示すように、第 1 のマスク 2 0 に形成されている第 1 のピンホール 2 2 に照明光 L L を照射し、第 1 のピンホール 2 2 によって収差を低減した球面波（理想球面波）を発生させる。かかる球面波がグレーディング 3 0 を透過することにより、複数の次数の回折光が発生する。

【 0 0 2 7 】

グレーディング 3 0 で発生した回折光は、被検光学系 M O S を透過又は被検光学系 M O S で反射される。そして、回折光のうちの一が第 2 のマスク 4 0 の透過窓 4 4 を透過し、その他の回折光のうちの一が第 2 のマスク 4 0 の第 2 のピンホール 4 2 に照射される。

【 0 0 2 8 】

10

20

30

40

50

第2のマスク40の透過窓44を透過した光DL1は、被検光学系MOSの面精度誤差や調整誤差に起因する波面収差を有している。一方、第2のマスク40の第2のピンホール42により発生した光DL2は、第2のピンホール42により回折されることで、理想球面波に近い波面を有している。かかる光DL2を参照光として、被検波面である光DL1と重ね合わせて（干渉して）形成される干渉縞（強度パターン）を検出部50で検出する。検出された干渉縞を解析することにより、被検光学系MOSの面精度誤差を算出する。

【0029】

ここで、第1のマスク20及び第2のマスク40は、照明光学系10及び被検光学系MOSの波面収差を低減させ、理想球面波に近い波面を生成させるために用いられる。換言すれば、第1のマスク20及び第2のマスク40は、参照波面を発生させる機能を有する。

【0030】

また、測定装置1がLDIを利用する場合には、第1のマスク20の代わりに、図3(a)に示すような、第1のスリット22a及び22bを有する第1のマスク20A及び20Bを用い、グレーディング30の代わりに、図3(b)に示すような、グレーディング30A及び30Bを用い、第2のマスク40の代わりに、図3(b)に示すような、第2のスリット42aと透過窓44aとを有する第2のマスク40A及び第2のスリット42bと透過窓44bとを有する第2のマスク40Bを用いる。ここで、図3は、LDIを利用する場合の測定装置1を構成する一部の要素の概略平面図であって、図3(a)は第1のマスク20Aの平面図、図3(b)はグレーディング30Aの平面図、図3(c)は第2のマスク40A及びBの平面図である。

【0031】

第1のピンホール22及び/又は第2のピンホール42から発生する参照波面を理想球面波に近づけるには、第1のマスク20及び第2のマスク40は、ピンホール以外の領域GPAで遮光性能を有する必要があるため、第1のピンホール22及び第2のピンホール42の厚さ（即ち、第1のマスク20及び第2のマスク40の厚さ）を有限な厚みに設定しなければならない。LDIを利用する場合も同様に、スリット以外の領域GPAで遮光性能を有する必要があるため、第1のスリット22a及び22b、及び、第2のスリット42a及び42bの厚さ（即ち、第1のマスク20A及び20B、及び、第2のマスク40A及び40Bの厚さ）を有限な厚みに設定しなければならない。

【0032】

図4は、第1のマスク20の概略断面図であって、 BIP_{22} は、第1のマスク20の第1のピンホール22に照射されるビーム強度プロファイルである。図5は、第2のマスク40の概略断面図であって、 BIP_{42} 及び BIP_{44} は、第2のマスク40の第2のピンホール42及び透過窓44に照射されるビーム強度プロファイルである。なお、LDIを利用する測定装置に用いられる第1のマスク20A及び20B、及び、第2のマスク40A及び40Bにおけるビーム強度プロファイルは、図4及び図5に示すものと同様である。また、以下では、ピンホール及びスリットを開口と表現し、理想球面波及び理想円筒波の波面を理想波面と表現する。

【0033】

開口を有する第1のマスク20及び/又は第2のマスク40が有限な厚みを有する場合、開口から生成される波面形状は、理想球面波や理想円筒波からの誤差（参照波面偏差）を有する。ここで、開口の中心と照射される光の光軸の位置がずれている場合や、照射される光が波面収差を含んでいた場合には、参照波面偏差が更に増加する。このような場合において、本発明者は、第1のマスク20及び第2のマスク40を、例えば、2層の膜から構成し、かかる2層の膜が有する開口の中心を一致させることで、参照波面偏差の増加を抑制することができることを発見した。

【0034】

参照波面偏差の増加を抑制するために2層の膜で構成した第1のマスク20を図6に示

10

20

30

40

50

す。図 4 と同様に、 BIP_{22} は、第 1 のピンホール 22 に照射される照明光学系 10 を透過又は反射してきたビーム強度プロファイルである。

【0035】

図 6 を参照するに、第 1 のマスク 20 は、照明光 LL を回折する第 1 の開口 27a を有する第 1 の膜 27 と、第 1 の開口 27a を経た光を回折する第 2 の開口 28a を有する第 2 の膜 28 とを有する。また、第 1 の膜 27 と第 2 の膜 28 は、第 1 の開口 27a の中心と第 2 の開口 28a の中心と一致するように、且つ、照明光 LL の吸収の少ない空間 SP を有して配置される。

【0036】

第 1 の膜 27 に照射された照明光 LL は、第 1 の膜 27 に形成された第 1 の開口 27a により回折され、光軸ずれや照明光学系 10 に起因する波面収差が低減された光が発生する。更に、回折された光は、空間 SP を伝搬した後、第 2 の膜 28 に照射される。

【0037】

第 2 の膜 28 に照射された光は、第 2 の膜 28 に形成された第 2 の開口 28a により回折され、光軸ずれや照明光学系 10 に起因する波面収差が更に低減された光が発生する。従って、第 1 のマスク 20 によれば、従来のピンホールマスクに比べて、参照波面偏差が低減され、より理想波面に近い参照波面を形成することができる。これにより、測定装置 1 の測定精度が向上する。なお、本実施形態では、第 1 のマスク 20 を構成する膜を 2 層としているが、2 層以上にしても同様の効果を得ることが可能である。また、本実施形態では、第 1 の開口 27a の中心と第 2 の開口 28a の中心と一致するように第 1 の膜 27 及び第 2 の膜 28 を配置しているが、第 1 の開口 27a と第 2 の開口 28a が重なるように第 1 の膜 27 及び第 2 の膜 28 を配置しても同様の効果を得ることができる。

【0038】

第 1 のマスク 20 と同様に、参照波面偏差の増加を抑制するために 2 層の膜で構成した第 2 のマスク 40 を図 7 に示す。図 5 と同様に、 BIP_{42} は、第 2 のピンホール 42 に照射される被検光学系 MOS を透過又は反射してきたビーム強度プロファイルである。

【0039】

図 7 を参照するに、第 2 のマスク 40 は、被検光学系 MOS を経た光を回折する第 1 の開口 47a を有する第 1 の膜 47 と、第 1 の開口 47a を経た光を回折する第 2 の開口 48a を有する第 2 の膜 48 とを有する。また、第 1 の膜 47 と第 2 の膜 48 は、第 1 の開口 47a の中心と第 2 の開口 48a の中心と一致するように、且つ、光の吸収の少ない空間 SP を有して配置される。第 2 のマスク 40 によれば、第 2 のピンホール 42 から発生する光の参照波面偏差を低減することが可能となる。従って、理想波面により近い参照波面を形成することができるため、測定装置 1 の測定精度を向上させることができる。なお、本実施形態では、第 2 のマスク 40 を構成する膜を 2 層としているが、2 層以上にしても同様の効果を得ることが可能である。また、本実施形態では、第 1 の開口 47a の中心と第 2 の開口 48a の中心と一致するように第 1 の膜 47 及び第 2 の膜 48 を配置しているが、第 1 の開口 47a と第 2 の開口 48a が重なるように第 1 の膜 47 及び第 2 の膜 48 を配置しても同様の効果を得ることができる。

【0040】

第 2 のマスク 40 は、図 8 に示すように、空間 SP に保持部材 45 を配置してもよい。保持部材 45 は、第 1 の膜 47 及び第 2 の膜 48 に接続し、第 1 の膜 47 と第 2 の膜 48 との間に一定距離の空間 SP を保持する。保持部材 45 は、第 1 の膜 47 及び第 2 の膜 48 の重力や熱による変形を低減すると共に、第 1 の開口 47a の中心と第 2 の開口 48a の中心とを精度よく一致させることができる。なお、かかる保持部材は、第 1 のマスク 20 に適用することも可能であることは言うまでもない。ここで、図 8 は、保持部材 45 を有する第 2 のマスク 40 の概略断面図である。

【0041】

図 9 は、第 1 の膜 47 と第 2 の膜 48 との間の空間 SP に第 3 の膜 49 を有する第 2 のマスク 40 の概略断面図である。第 3 の膜 49 は、第 1 の開口 47a を経た光を第 2 の開

10

20

30

40

50

口 4 8 a に伝播する第 3 の開口 4 9 a を有し、第 1 の開口 4 7 a の中心と第 2 の開口 4 8 a の中心とを一致させるように、第 1 の膜 4 7 と第 2 の膜 4 8 とを接続する。なお、第 3 の膜 4 9 の光吸収が少ない場合には、第 3 の開口 4 9 a を形成しなくてもよい。上述したように、第 3 の膜 4 9 は、第 1 の開口 4 7 a と第 2 の開口 4 8 a が重なるように第 1 の膜 4 7 及び第 2 の膜 4 8 を接続してもよい。また、図 9 に示す第 2 のマスク 4 0 の構成は、第 1 のマスク 2 0 にも適用することができる。

【 0 0 4 2 】

第 2 のマスク 4 0 は、第 1 の膜 4 7 の消衰係数を k_1 、第 2 の膜 4 8 の消衰係数を k_2 、第 3 の膜の消衰係数を k_3 とした場合、 $k_1 > k_3$ とすることで、第 1 の開口 4 7 a から広がりを持った回折光が発生し、照射された光の波面収差や照射された光の光軸と第 1 の開口 4 7 a の中心との位置ずれの影響を低減することができる。更に、 $k_2 > k_3$ とすることで、照射された光の波面収差や照射された光の光軸と第 2 の開口 4 8 a の中心との位置ずれの影響を更に低減した光が第 2 の開口 4 8 a から発生する。ここで、消衰係数とは、媒質の複素屈折率虚部である。

【 0 0 4 3 】

図 9 に示すように、第 3 の膜 4 9 を設けることで、第 2 のマスク 4 0 の剛性が向上し、変形の影響を低減させることができる。更に、可視光の場合には、第 3 の膜 4 9 を略透明な石英基板とし、かかる基板の表面及び裏面に消衰係数の大きい、例えば、クロムなどを成膜した後、フォトリソグラフィー及びエッチングや、電子ビーム、イオンビームなどによって開口を形成することで、簡便に第 2 のマスク 4 0 を作成することが可能となる。

【 0 0 4 4 】

測定装置 1 が L D I を利用して被検光学系 M O S の光学性能を測定する場合には、第 1 のマスク 2 0 及び第 2 のマスク 4 0 が有する第 1 のピンホール 2 2 及び第 2 のピンホール 4 2 の円形状をスリット形状にすればよい。スリットの短い方向の幅（以下、「スリット幅」と称する。）は、照射される光のビーム強度プロファイルの幅より短くすることで、照射される光の波面収差を低減させた光を回折により発生させることが可能となる。スリットのような矩形形状の開口から発生する光を集光する場合、スポットの幅は、照明光 L L の波長を λ 、集光させる光学系（即ち、被検光学系 M O S）の開口数を N A（N u m e r i c a l A p e r t u r e）とすると、 $\lambda / N A$ となる。従って、スリット幅が $\lambda / N A$ 以下であれば、照射される光の波面収差が低減した光を回折により発生させることができる。

【 0 0 4 5 】

ここで、例えば、E U V 露光装置（波長 λ が 1 3 . 5 n m）に用いられる N A が 0 . 2 0 である投影光学系の光学特性を測定する L D I を利用した測定装置について説明する。本発明の第 2 のマスク 4 0 及び従来のマスクから発生する波面の参照波面偏差について、厳密電磁場数値計算を用いて計算した。なお、従来のマスクは、材質を N i、厚さを 1 5 0 n m とし、本発明の第 2 のマスク 4 0 は、第 1 の膜 4 7 の材質を N i、厚さを 5 0 n m、第 2 の膜 4 8 の材質を N i、厚さを 1 5 0 n m、第 3 の膜 4 9 の材質を S i N、厚さを 1 5 0 n m とした。また、本発明の第 2 のマスク 4 0 及び従来のマスク共に、スリット幅を 5 0 n m とした。

【 0 0 4 6 】

図 1 0 は、本発明の第 2 のマスク 4 0（N i 5 0 n m / S i N 1 5 0 n m / N i 1 5 0 n m）及び従来のマスク（N i 1 5 0 n m）において、照射する光の光軸とスリットの中心との間に位置ずれ（光軸ずれ）が生じた場合に、スリットから発生する波面の理想円筒波からの誤差、即ち、参照波面偏差を示すグラフである。図 1 0 は、横軸に光軸ずれを、縦軸に参照波面偏差を採用する。

【 0 0 4 7 】

図 1 0 を参照するに、従来のマスクでは、スリットから発生した波面の参照波面偏差は、光軸ずれが 5 n m で 2 . 5 m λ 以上、光軸ずれが 1 0 n m で 5 m λ 以上と、光軸ずれが増加するに従って参照波面偏差も著しく増加する。一方、本発明の第 2 のマスク 4 0 では

10

20

30

40

50

、20 nmの光軸ずれが生じても参照波面偏差は $2 m \lambda$ 以下に抑えられていることがわかる。

【0048】

EUV露光装置に用いられる投影光学系の測定精度としては、0.1 nm RMS程度が求められており、これを波長単位に換算すると、 $0.1 \text{ nm} / 13.5 \text{ nm} = 7.4 m \lambda$ RMSとなる。干渉計における測定誤差の要因としては、大別して、システム誤差、第1のマスクから発生する参照波面偏差、第2のマスクから発生する参照波面偏差及び干渉縞解析誤差がある。このうち、第2のマスクにおける参照波面偏差としては、 $7.4 m \lambda / 4 = 1.85 m \lambda$ が許容範囲となる。

【0049】

図10を参照するに、参照波面誤差が 1.85λ RMS以下となる光軸ずれは、従来のマスクの場合には2.5 nm以下であり、かかる精度で光軸、マスクの位置制御を行うことは困難である。一方、本発明の第2のマスク40の場合には、20 nm程度の光軸ずれまで許容され、LDIの測定精度の向上と共に、高精度な位置合わせが不要となるため、装置の簡便化も可能となる。

【0050】

また、PDIを利用した測定装置1においては、第1のマスク20及び第2のマスク40の第1のピンホール22及び第2のピンホール42の形状を略円形状にすることで、理想球面波に近い波面の光を発生させることができる。ピンホールのような円形状の開孔から発生する光を集光する場合、スポット直径は、 $1.22 \times \lambda / NA$ といなる。従って、ピンホールの直径が $1.22 \times \lambda / NA$ 以下であれば、照射される光の波面収差が低減した光を回折により発生させることができる。

【0051】

ここで、LDIを利用した測定装置の場合と同様に、本発明の第2のマスク40及び従来のマスクから発生する波面の参照波面偏差について、厳密電磁場数値計算を用いて計算した。なお、従来のマスクは、材質をNi、厚さを150 nmとし、本発明の第2のマスク40は、第1の膜47の材質をNi、厚さを50 nm、第2の膜48の材質をNi、厚さを150 nm、第3の膜49の材質をSiN、厚さを150 nmとした。また、本発明の第2のマスク40及び従来のマスク共に、ピンホールの直径を50 nmとした。

【0052】

図11は、本発明の第2のマスク40 (Ni 50 nm / SiN 150 nm / Ni 150 nm) 及び従来のマスク (Ni 150 nm) において、照射する光の光軸とピンホールの中心との間に位置ずれ (光軸ずれ) が生じた場合に、ピンホールから発生する波面の理想球面波からの誤差、即ち、参照波面偏差を示すグラフである。図11は、横軸に光軸ずれを、縦軸に参照波面偏差を採用する。

【0053】

図11を参照するに、参照波面偏差が 1.85λ RMS以下となる光軸ずれは、従来のマスクの場合には11 nm以下であるが、本発明の第2のマスク40の場合には25 nm以上に拡大していることがわかる。従って、PDIの測定精度の向上と共に、高精度な位置合わせが不要となるため、装置の簡便化も可能となる。

【0054】

なお、照明光学系10や被検光学系MOSは、無収差ではなく、ある収差を有しているため、入射する光が収差を有している場合においても、参照波面偏差は小さいものでなければならない。

【0055】

図12は、本発明の第2のマスク40 (Ni 50 nm / SiN 150 nm / Ni 150 nm) 及び従来のマスク (Ni 150 nm) において、照射する光が非点収差を有する場合に、ピンホールから発生する波面の理想球面波からの誤差、即ち、参照波面偏差を示すグラフである。図12は、横軸にFringe Zernike多項式の低次非点収差の係数を、縦軸に参照波面偏差を採用する。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 6 】

図 1 2 を参照するに、従来のマスクでは、非点収差の係数が -0.05λ から 0.1λ の範囲で、参照波面偏差が $1.85\text{ m}\lambda\text{ RMS}$ となるが、本発明の第 2 のマスク 4 0 では、非点収差の係数が -0.5λ から 0.25λ までの広い範囲で、参照波面偏差を $1.85\text{ m}\lambda\text{ RMS}$ 以下に抑えることが可能となる。従って、PDI の測定精度の向上と共に、高精度な位置合わせが不要となるため、装置の簡便化も可能となる。なお、第 2 のマスク 4 0 の開口の形状（円形状）は、照射される光が直線偏光の場合、偏光方向に応じた楕円形状とすることで、参照波面偏差を更に低減させることができる。

【 0 0 5 7 】

また、光が最初に照射される第 1 の膜 4 7 の第 1 の開口 4 7 a から発生した回折光は、第 1 の開口 4 7 a の出口に近い領域ではフレネル回折に似た回折光となり、更に、伝搬することにより、フラウンホーファ回折に似た回折光となる。第 1 の開口 4 7 a の出口から垂直方向の伝搬距離を d 、光の波長を λ 、伝搬する媒質の屈折率を n 、第 1 の開口 4 7 a の最大幅を a とすると、フレネル回折に似た回折光が生じる領域は、以下の数式 1 で表される。

【 0 0 5 8 】

【 数 1 】

$$d < n \times a^2 / (4\lambda)$$

10

20

【 0 0 5 9 】

また、以下の数式 2 で表される領域では、回折光の広がり、第 1 の開口 4 7 a の最大幅 a 以上となる。

【 0 0 6 0 】

【 数 2 】

$$d > n \times a^2 / (4\lambda)$$

30

【 0 0 6 1 】

従って、第 2 の膜 4 8 の第 2 の開口 4 8 a に光が到達するまでに、回折光の広がりが第 2 の開口 4 8 a の最大幅以上となっていれば、第 2 の開口 4 8 a から発生する参照波面偏差が小さくなる。

【 0 0 6 2 】

例えば、開口幅 50 nm の第 1 の開口 4 7 a から生じる回折光の光強度分布を、波長を 13.5 nm 、第 1 の膜 4 7 は完全遮蔽体で無限に薄いものとして計算した。図 1 3 は、数式 1 の条件を満たし、第 1 の開口 4 7 a から 2 nm 伝搬したときの開口面に対して平行方向の光強度分布を示すグラフである。図 1 3 は、横軸に第 1 の開口 4 7 a の位置を、縦軸に光強度を採用している。図 1 3 を参照するに、開口幅 50 nm 内での光強度分布は、中心軸上の強度がピークとなっておらず、開口幅 50 nm 外では急激に光強度が減少していることがわかる。

40

【 0 0 6 3 】

図 1 4 は、数式 2 の条件を満たし、第 1 の開口 4 7 a から 47 nm 伝搬したときの開口面に対して平行方向の光強度分布を示すグラフである。図 1 4 は、横軸に第 1 の開口 4 7 a の位置を、縦軸に光強度を採用している。図 1 4 を参照するに、開口幅 50 nm 外の領域にも光が広がっていることがわかる。

50

【 0 0 6 4 】

更に、第 1 の膜 4 7 が有限の厚みを有し、光吸収がある場合を考える。例えば、第 1 の膜 4 7 の材質を Ni、厚みを 50 nm、第 2 の膜 4 8 の材質を Ni、厚みを 150 nm とした第 2 のマスク 4 0 の参照波面収差を考える。図 1 5 は、第 3 の膜 4 9 の厚さを変化させた場合において、第 2 のマスク 4 0 から発生する参照波面偏差を示すグラフである。図 1 5 は、横軸に第 3 の膜 4 9 の厚さを、縦軸に参照波面偏差を採用する。

【 0 0 6 5 】

図 1 5 を参照するに、光軸ずれがない場合と、光軸ずれが 10 nm ある場合の参照波面偏差を比較すると、第 3 の膜 4 9 の厚さを d として、 $d > n \times a^2 / (4 \lambda)$ 、即ち、 $d > 45.6 \text{ nm}$ で、第 3 の膜 4 9 として光吸収の多い Ni を用いた第 2 のマスク 4 0 よりも、第 3 の膜 4 9 として光吸収の少ない SiN を用いた第 2 のマスク 4 0 の方が、参照波面偏差は小さくなる。従って、第 2 のマスク 4 0 の第 3 の膜 4 9 の厚さを、 $n \times a^2 / (4 \lambda)$ 以上とすることで、第 2 のマスク 4 0 からの参照波面偏差を低減することが可能となる。なお、第 1 の膜 4 7 が有する第 1 の開口 4 7 a の形状と、第 2 の膜 4 8 が有する第 2 の開口 4 8 a の形状が異なる場合でも、同様の効果を得ることができる。

10

【 0 0 6 6 】

更に、光が最初に照射される第 1 の膜 4 7 では、回折光が発生する程度の遮光性能が必要となる。第 1 の膜 4 7 において、光軸ずれを生じた場合には、入射する光の光軸、即ち、入射光の最大の光強度となる位置が第 1 の開口 4 7 a 以外の領域に移動することがある。この場合、第 1 の開口 4 7 a により回折光を発生させるためには、入射する光の光強度を 1 とすると、スポット径端の光強度である $1/e^2$ 以下に減衰する厚み z' を有している必要がある。ここで、 e は自然対数である。

20

【 0 0 6 7 】

ここで、第 1 の膜 4 7 に電界強度 I_0 の平面波を入射した場合、誘電体を距離 z だけ透過した平面波の電界強度 I は、以下の数式 3 で表される。

【 0 0 6 8 】

【 数 3 】

$$I = I_0 \exp(-\alpha z)$$

30

【 0 0 6 9 】

ここで、 α は吸収係数であり、消衰定数を k 、波長を λ とすると、以下の数式 4 で表される。

【 0 0 7 0 】

【 数 4 】

$$\alpha = 4 \pi k / \lambda$$

40

【 0 0 7 1 】

また、入射する光のピーク強度が $1/e^2$ に減衰する距離 z' は、以下の数式 5 で表される。

【 0 0 7 2 】

【数 5】

$$z' = \lambda / (2 \pi k)$$

【0073】

波長 $\lambda = 13.5 \text{ nm}$ 、材質として Ni を用いた場合は消衰係数 $k = 0.0727$ であるから、 $z' = \text{約 } 30 \text{ nm}$ となる。

【0074】

図 16 は、開口形状を直径 50 nm のピンホール、第 3 の膜 49 の材質を SiN、厚みを 150 nm 、第 2 の膜 48 の材質を Ni、厚みを 150 nm 、入射する光の波長を 13.5 nm とした場合において、第 1 の膜 47 の材質を Ni とし、厚さを変化させたときの参照波面偏差を示すグラフである。図 16 は、横軸に第 1 の膜 47 の厚さを、縦軸に参照波面偏差を採用する。 10

【0075】

図 16 を参照するに、第 1 の膜 47 の厚さが $\lambda / (2 \pi k)$ 以上、即ち、 30 nm 以上であれば、 10 nm の光軸ずれが生じていても、参照波面偏差の増加を低減することができるのがわかる。従って、第 1 の膜 47 の厚さを $\lambda / 2 \pi k$ 以上とすることで、参照波面偏差を低減し、測定装置 1 の測定精度を向上させることができる。 20

【0076】

最終的に参照波面を発生させる第 2 の膜 48 は、第 1 の膜 47 よりも高い遮光性能が要求される。この場合、入射する光の光強度を 0.1% 程度まで減衰させることによって、第 2 の開口 48a から発生する光と、第 2 の開口 48a 以外を透過する光との干渉を低減することができる。入射する光の光強度を 0.1% に低減させるためには、第 2 の膜 48 の厚さ z_2' を、以下の数式 6 よりも厚くすればよい。

【0077】

【数 6】

$$z_2' = 1.727 \lambda / (\pi k)$$

30

【0078】

図 17 は、本発明の第 2 のマスク 40 (Ni 50 nm / SiN 150 nm / Ni 150 nm) において、第 2 の膜 48 の第 2 の開口 48a の直径を 50 nm とし、第 1 の膜 47 の第 1 の開口 47a を変化させた場合に発生する参照波面偏差を示すグラフである。図 17 は、横軸に第 1 の開口 47a の直径を、縦軸に参照波面偏差を採用する。

【0079】

図 17 を参照するに、第 1 の開口 47a の直径を、第 2 の開口 48a の直径よりも小さくすることで、参照波面偏差を小さくすることが可能であることがわかる。従来は、開口径を小さくすると、開口以外の部分に照射される光量が増加するため、射出側で遮光しきれずに透過する光量も増加し、開口での回折光と干渉することで参照波面偏差が増加するという問題があった。しかし、本発明の第 2 のマスク 40 では、光軸ずれや入射する光の波面収差の影響を低減するように、開口径を小さくしても、多層の膜 (例えば、第 1 の膜 47、第 2 の膜 48 及び第 3 の膜 49) により、遮光しきれずに透過する光を減少させることが可能となる。従って、光軸ずれや入射する光の波面収差の影響を低減することが可能となる。また、開口としてスリットが形成されている場合も同様に、第 1 の膜 47 のスリット幅が、第 2 の膜 48 のスリット幅よりも小さくすることで、参照波面偏差を低減させることができる。 40

【0080】

以上のように、理想波面との誤差が小さい参照波面を生成することができる第 1 のマス 50

ク 2 0 及び第 2 のマスク 4 0 を、光学系の波面精度や光学素子の面精度を測定する P D I や L D I などの干渉計の参照波面として用いることで、高精度な測定が可能となる。従って、測定装置 1 は、E U V 露光装置に用いられる光学系のような、高い精度が要求される光学系及び光学部材の光学特性の測定を行うことが可能となる。

【 0 0 8 1 】

更には、本発明の測定装置 1 を露光装置に搭載することにより、常に高い精度で波面収差を測定することが可能となるため、安定した露光性能を維持することができ、半導体デバイスの歩留まり向上やメンテナンス性の向上を実現することができる。

【 0 0 8 2 】

以下、図 1 8 を参照して、本発明の測定装置 1 を有する例示的な露光装置 5 0 0 について説明する。図 1 8 は、本発明の一側面としての露光装置 5 0 0 の構成を示す概略ブロック図である。

【 0 0 8 3 】

本発明の露光装置 5 0 0 は、露光用の照明光として E U V 光（例えば、波長 1 3 . 4 n m ）を用いて、例えば、ステップ・アンド・スキャン方式やステップ・アンド・リピート方式でレチクル 5 2 0 に形成された回路パターンを被処理体 5 4 0 に露光する投影露光装置である。かかる露光装置は、サブミクロンやクォーターミクロン以下のリソグラフィー工程に好適であり、以下、本実施形態ではステップ・アンド・スキャン方式の露光装置（「スキャナー」とも呼ばれる。）を例に説明する。ここで、「ステップ・アンド・スキャン方式」とは、マスクに対してウェハを連続的にスキャン（走査）してマスクパターンをウェハに露光すると共に、1 ショットの露光終了後ウェハをステップ移動して、次の露光領域に移動する露光方法である。「ステップ・アンド・リピート方式」は、ウェハの一括露光ごとにウェハをステップ移動して次のショットの露光領域に移動する露光方法である。

【 0 0 8 4 】

図 1 8 を参照するに、露光装置 5 0 0 は、測定装置 1 と、照明装置 5 1 0 と、レチクル 5 2 0 と、レチクル 5 2 0 を載置するレチクルステージ 5 2 5 と、投影光学系 5 3 0 と、被処理体 5 4 0 と、被処理体 5 4 0 を載置するウェハステージ 5 4 5 と、アライメント検出機構 5 5 0 と、フォーカス位置検出機構 5 6 0 とを有する。

【 0 0 8 5 】

また、図 1 8 に示すように、E U V 光は、大気に対する透過率が低く、残留ガス（酸素、二酸化炭素、水蒸気など）成分との反応によりコンタミを生成してしまうため、少なくとも、E U V 光が通る光路中（即ち、光学系全体）は真空雰囲気 C A となっている。

【 0 0 8 6 】

測定装置 1 は、本実施形態では、投影光学系 5 3 0 の光学特性を測定する。図 1 8 の 1 1 0 が照明ユニットであり、ステージ 1 1 5 に設置されている。1 2 0 が受光ユニットであり、ステージ 1 2 5 に設置されている。投影光学系 5 3 0 の光学特性を測定する際は、照明ユニット 1 1 0 と受光ユニット 1 2 0 がステージ毎駆動され、各々レチクル 5 2 0 及び被処理体 5 4 0 と入れ替わる。そして、照明光学系 5 1 4 から分離した光を照明ユニット 1 1 0 に導き、投影光学系 5 3 0 の光学特性を測定する。測定装置 1 は、上述した形態の他、いかなる形態をも適用可能であり、ここでの詳細な説明は省略する。なお、測定装置 1 は、必ずしも設置する必要はなく、後述するように、測定装置 1 で光学特性を測定し、かかる光学特性が所望の値以上を有する投影光学系を露光装置 5 0 0 に利用してもよい。

【 0 0 8 7 】

照明装置 5 1 0 は、投影光学系 5 3 0 の円弧状の視野に対する円弧状の E U V 光（例えば、波長 1 3 . 4 n m ）によりレチクル 5 2 0 を照明する照明装置であって、E U V 光源 5 1 2 と、照明光学系 5 1 4 とを有する。

【 0 0 8 8 】

E U V 光源 5 1 2 は、例えば、レーザープラズマ光源が用いられる。これは、真空容器

中のターゲット材に高強度のパルスレーザー光を照射し、高温のプラズマを発生させ、これから放射される、例えば、波長13nm程度のEUV光を利用するものである。ターゲット材としては、金属膜、ガスジェット、液滴などが用いられる。放射されるEUV光の平均強度を高くするためにはパルスレーザーの繰り返し周波数は高い方がよく、通常数kHzの繰り返し周波数で運転される。

【0089】

照明光学系514は、集光ミラー514a、オプティカルインテグレーター514bから構成される。集光ミラー514aは、レーザープラズマからほぼ等方的に放射されるEUV光を集める役割を果たす。オプティカルインテグレーター514bは、レチクル520を均一に所定の開口数で照明する役割を持っている。また、照明光学系514は、レチクル520と共役な位置に、レチクル520の照明領域を円弧状に限定するためのアパーチャ514cが設けられている。

10

【0090】

レチクル520は、反射型マスクで、その上には転写されるべき回路パターン（又は像）が形成され、マスクステージに支持及び駆動されている。レチクル520から発せられた回折光は、投影光学系530で反射されて被処理体540上に投影される。レチクル520と被処理体540とは、光学的に共役の關係に配置される。露光装置500は、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置であるため、レチクル520と被処理体540を走査することによりレチクル520のパターンを被処理体540上に縮小投影する。

【0091】

20

レチクルステージ525は、レチクル520を支持して図示しない移動機構に接続されている。レチクルステージ525は、当業界周知のいかなる構造をも適用することができる。図示しない移動機構は、リニアモーターなどで構成され、少なくともX方向にレチクルステージ525を駆動することでレチクル520を移動することができる。露光装置500は、レチクル520と被処理体540を同期した状態で走査する。ここで、レチクル520又は被処理体540面内で走査方向をX、それに垂直な方向をY、レチクル520又は被処理体540面内に垂直な方向をZとする。

【0092】

投影光学系530は、複数の反射ミラー（即ち、多層膜ミラー）530aを用いて、レチクル520面上のパターンを像面である被処理体540上に縮小投影する。複数のミラー530aの枚数は、4枚乃至6枚程度である。少ない枚数のミラーで広い露光領域を実現するには、光軸から一定の距離だけ離れた細い円弧状の領域（リングフィールド）だけを用いて、レチクル520と被処理体540を同時に走査して広い面積を転写する。投影光学系530の開口数（NA）は、0.1乃至0.2程である。かかる投影光学系530の光学特性（例えば、波面収差）の測定に本発明の測定装置1を適用することができ、測定装置1により光学特性を測定し、かかる測定値が許容範囲内である投影光学系530を用いることにより、優れた結像性能を発揮することができる。また、投影光学系530は、測定装置1の測定結果に基づいて、光学特性を調整することも可能である。

30

【0093】

被処理体540は、本実施形態ではウェハであるが、液晶基板その他の被処理体を広く含む。被処理体540には、フォトリソが塗布されている。

40

【0094】

ウェハステージ545は、ウェハチャック545aによって被処理体545を支持する。ウェハステージ545は、例えば、リニアモーターを利用してXYZ方向に被処理体540を移動する。レチクル520と被処理体540は、同期して走査される。また、レチクルステージ525の位置とウェハステージ545との位置は、例えば、レーザー干渉計などにより監視され、両者は一定の速度比率で駆動される。

【0095】

アライメント検出機構550は、レチクル520の位置と投影光学系530の光軸との位置関係、及び、被処理体540の位置と投影光学系530の光軸との位置関係を計測し

50

、レチクル５２０の投影像が被処理体５４０の所定の位置に一致するようにレチクルステージ５２５及びウェハステージ５４５の位置と角度を設定する。

【００９６】

フォーカス位置検出機構５６０は、被処理体５４０面でＺ方向のフォーカス位置を計測し、ウェハステージ５４５の位置及び角度を制御することによって、露光中、常時被処理体５４０面を投影光学系５３０による結像位置に保つ。

【００９７】

なお、本実施形態においける照明装置５１０のＥＵＶ光源５１２及び照明光学系５１４は、測定装置１の照明光学系１０を兼ねることも可能である。

【００９８】

露光において、照明装置５１０から射出されたＥＵＶ光はレチクル５２０を照明し、レチクル５２０面上のパターンを被処理体５４０面上に結像する。本実施形態において、像面は円弧状（リング状）の像面となり、レチクル５２０と被処理体５４０を縮小倍率比の速度比で走査することにより、レチクル５２０の全面を露光する。露光装置５００は、測定装置１により測定された光学特性が所定の値以上の投影光学系５３０を用いているため、優れた露光性能を達成し、高いスループットで経済性よくデバイス（半導体素子、ＬＣＤ素子、撮像素子（ＣＣＤなど）、薄膜磁気ヘッドなど）を提供することができる。

【００９９】

次に、図１９及び図２０を参照して、上述の露光装置５００を利用したデバイス製造方法の実施例を説明する。図１９は、デバイス（ＩＣやＬＳＩなどの半導体チップ、ＬＣＤ、ＣＣＤ等）の製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体チップの製造を例に説明する。ステップ１（回路設計）では、デバイスの回路設計を行う。ステップ２（マスク製作）では、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。ステップ３（ウェハ製造）では、シリコンなどの材料を用いてウェハを製造する。ステップ４（ウェハプロセス）は、前工程と呼ばれ、マスクとウェハを用いてリソグラフィ技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。ステップ５（組み立て）は、後工程と呼ばれ、ステップ４によって作成されたウェハを用いて半導体チップ化する行程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ６（検査）では、ステップ５で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ７）される。

【０１００】

図２０は、ステップ４のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ１１（酸化）では、ウェハの表面を酸化させる。ステップ１２（ＣＶＤ）では、ウェハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ１３（電極形成）では、ウェハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ１４（イオン打ち込み）では、ウェハにイオンを打ち込む。ステップ１５（レジスト処理）では、ウェハに感光剤を塗布する。ステップ１６（露光）では、露光装置５００によってマスクの回路パターンをウェハに露光する。ステップ１７（現像）では、露光したウェハを現像する。ステップ１８（エッチング）では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ１９（レジスト剥離）では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによってウェハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施形態のデバイス製造方法によれば、従来よりも高品位のデバイスを製造することができる。このように、露光装置５００を使用するデバイス製造方法、並びに結果物としてのデバイスも本発明の一側面を構成する。

【０１０１】

以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例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。

【図面の簡単な説明】

【０１０２】

【図１】本発明の一側面としての測定装置の構成を示す概略ブロック図である。

10

20

30

40

50

- 【図 2】図 1 に示す測定装置を構成する一部の要素の概略平面図である。
- 【図 3】L D I を利用する場合の測定装置を構成する一部の要素の概略平面図である。
- 【図 4】図 1 に示す第 1 のマスクの概略断面図である。
- 【図 5】図 1 に示す第 2 のマスクの概略断面図である。
- 【図 6】図 4 に示す第 1 のマスクの更に詳細な断面図である。
- 【図 7】図 5 に示す第 2 のマスクの更に詳細な断面図である。
- 【図 8】保持部材を有する第 2 のマスクの概略断面図である。
- 【図 9】第 1 の膜と第 2 の膜との間に第 3 の膜を有する第 2 のマスクの概略断面図である。
- 【図 10】図 9 に示す第 2 のマスク及び従来のマスクにおいて、光軸ずれが生じた場合の参照波面偏差を示すグラフである。 10
- 【図 11】図 9 に示す第 2 のマスク及び従来のマスクにおいて、光軸ずれが生じた場合の参照波面偏差を示すグラフである。
- 【図 12】図 9 に示す第 2 のマスク及び従来のマスクにおいて、照射する光が非点収差を有する場合の参照波面偏差を示すグラフである。
- 【図 13】数式 1 の条件を満たし、第 1 の開口から 2 n m 伝搬したときの開口面に対して平行方向の光強度分布を示すグラフである。
- 【図 14】数式 2 の条件を満たし、第 1 の開口から 4 7 n m 伝搬したときの開口面に対して平行方向の光強度分布を示すグラフである。
- 【図 15】第 3 の膜の厚さを変化させた場合において、第 2 のマスクから発生する参照波面偏差を示すグラフである。 20
- 【図 16】第 1 の膜の厚さを変化させた場合において、第 2 のマスクから発生する参照波面偏差を示すグラフである。
- 【図 17】本発明の第 2 のマスクにおいて、第 1 の膜の第 1 の開口を変化させた場合に発生する参照波面偏差を示すグラフである。
- 【図 18】本発明の一側面としての露光装置の構成を示す概略ブロック図である。
- 【図 19】デバイス（I C や L S I などの半導体チップ、L C D、C C D 等）の製造を説明するためのフローチャートである。
- 【図 20】図 19 に示すステップ 4 のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。

【符号の説明】

30

【 0 1 0 3 】

1	測定装置
1 0	照明光学系
2 0	第 1 のマスク
2 2	第 1 のピンホール
2 7	第 1 の膜
2 7 a	第 1 の開口
2 8	第 2 の膜
2 8 a	第 2 の開口
2 0 A 及び 2 0 B	第 1 のマスク
2 2 a 及び 2 2 b	第 1 のスリット
3 0、3 0 A 及び 3 0 B	グレーディング
4 0	第 2 のマスク
4 2	第 2 のピンホール
4 4	透過窓
4 5	保持部材
4 7	第 1 の膜
4 7 a	第 1 の開口
4 8	第 2 の膜
4 8 a	第 2 の開口

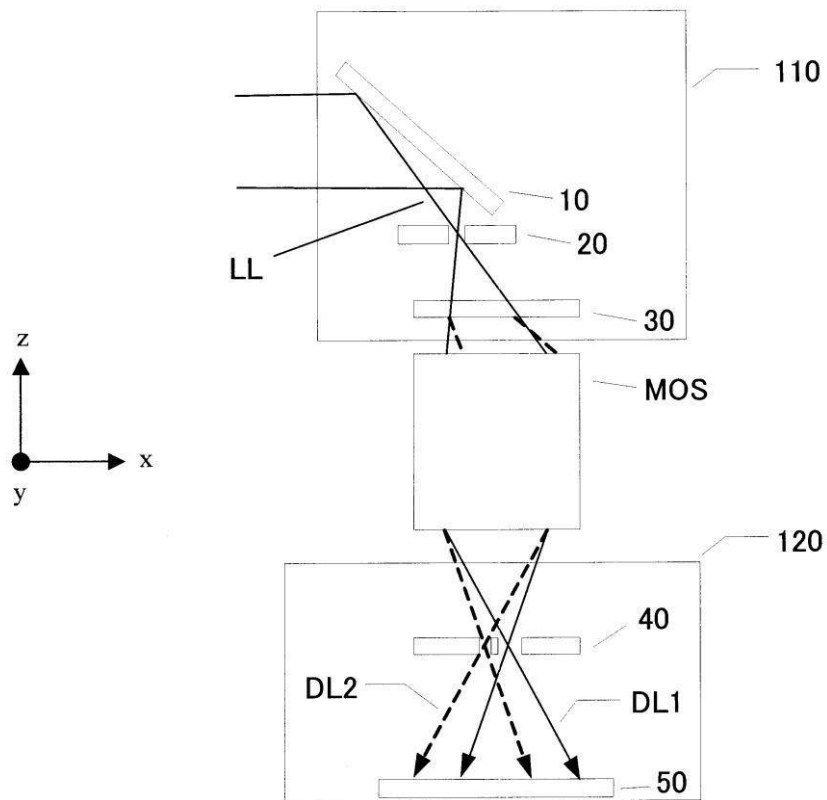
40

50

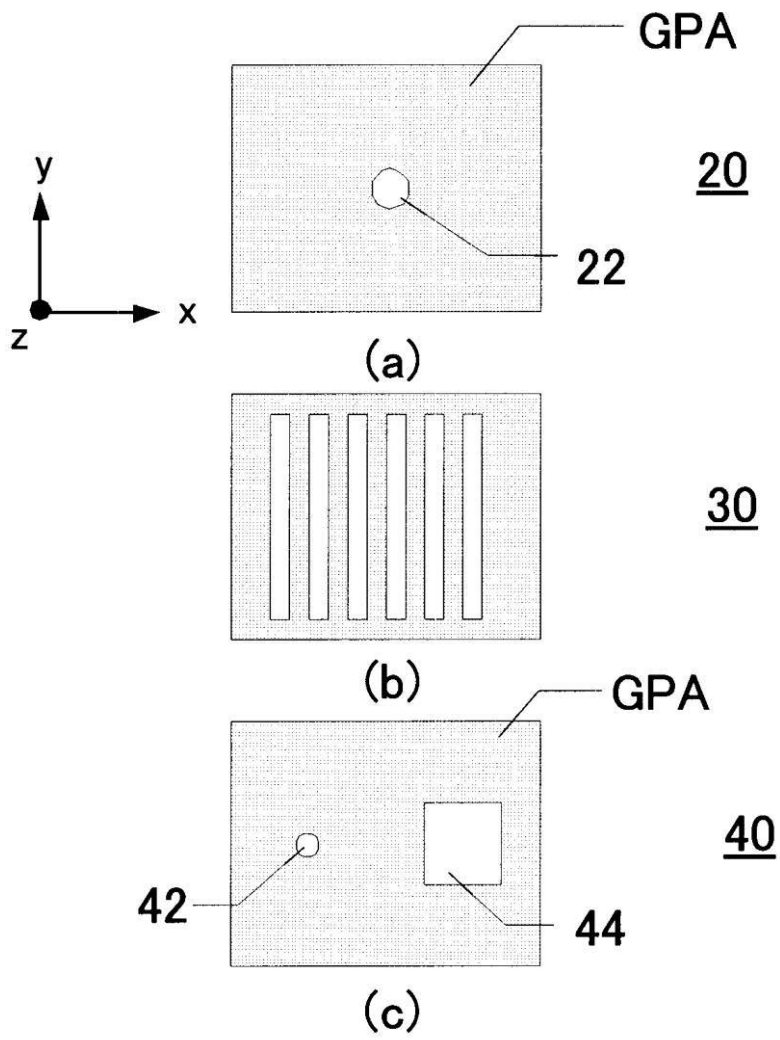
4 9	第 3 の膜
4 9 a	第 3 の開口
4 0 A 及び 4 0 B	第 2 のマスク
4 2 a 及び 4 2 b	第 2 のスリット
4 4 a 及び 4 4 b	透過窓
5 0	検出部
S P	空間
M O S	被検光学系
5 0 0	露光装置
5 3 0	投影光学系

【 図 1 】

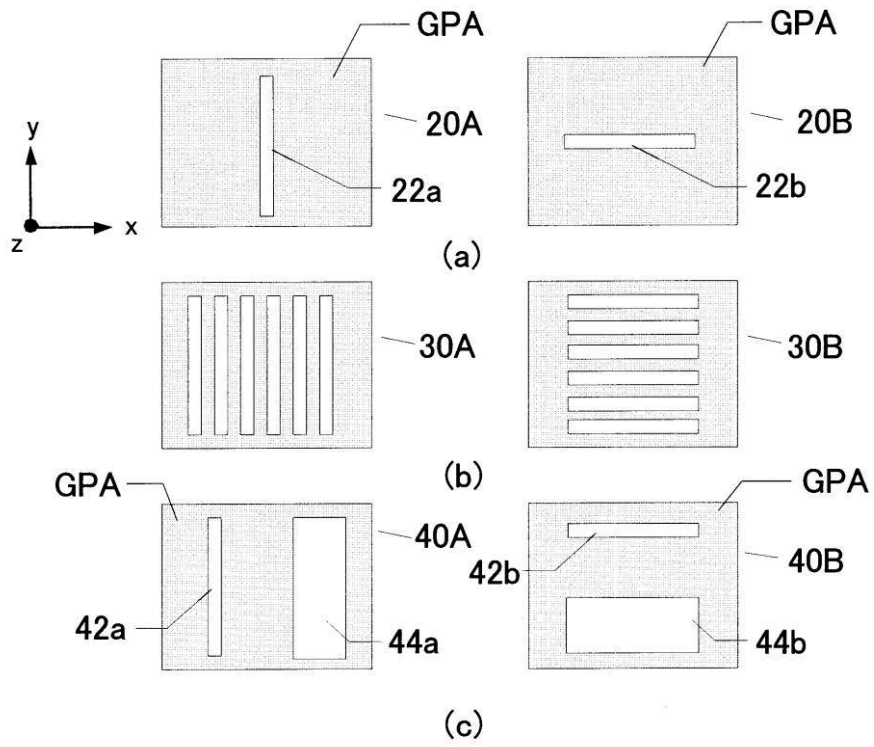
1



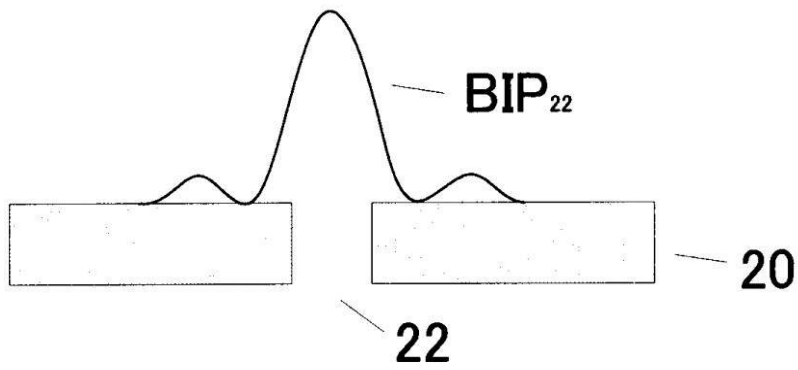
【 図 2 】



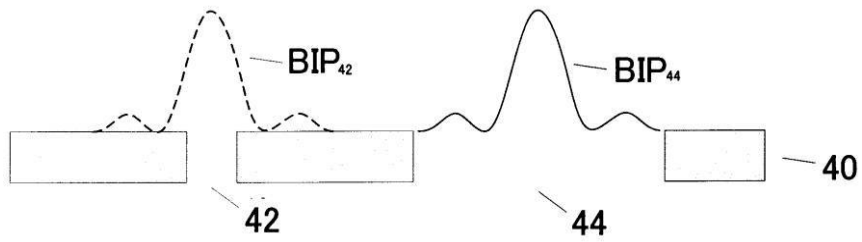
【 図 3 】



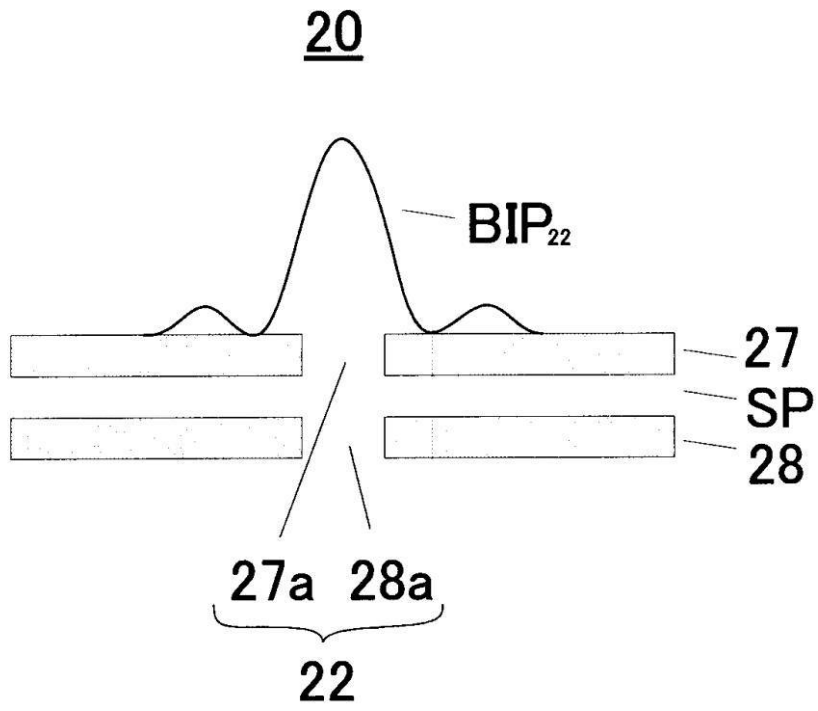
【 図 4 】



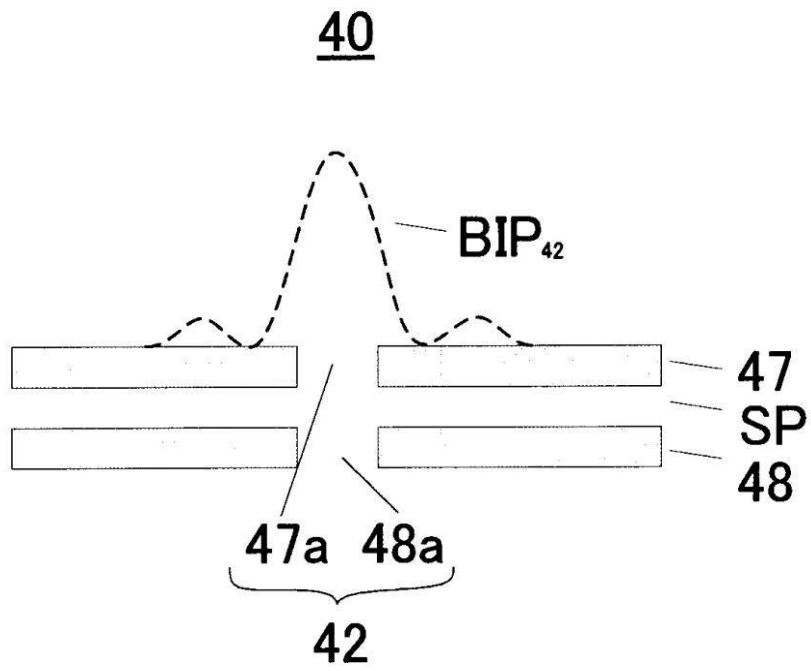
【 図 5 】



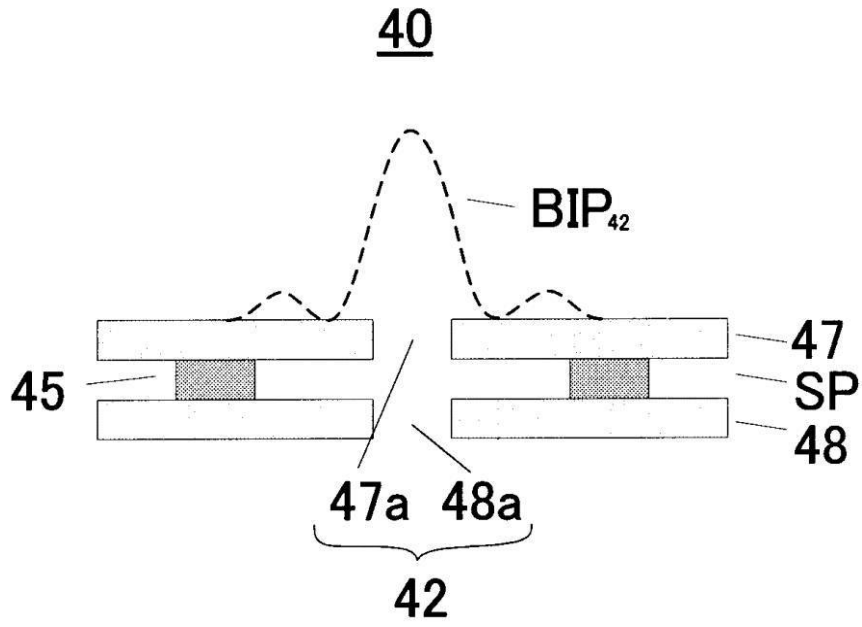
【 図 6 】



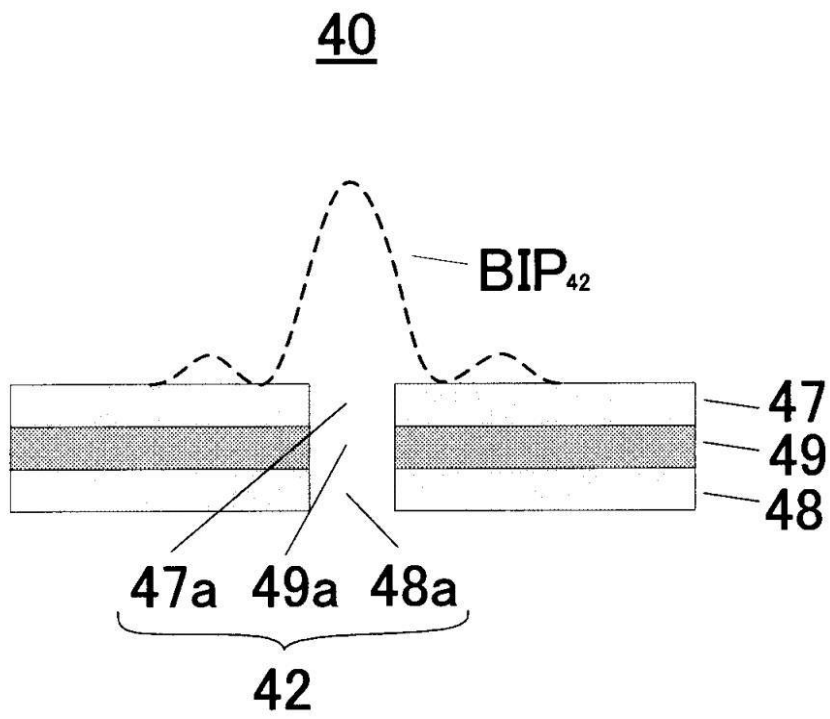
【 図 7 】



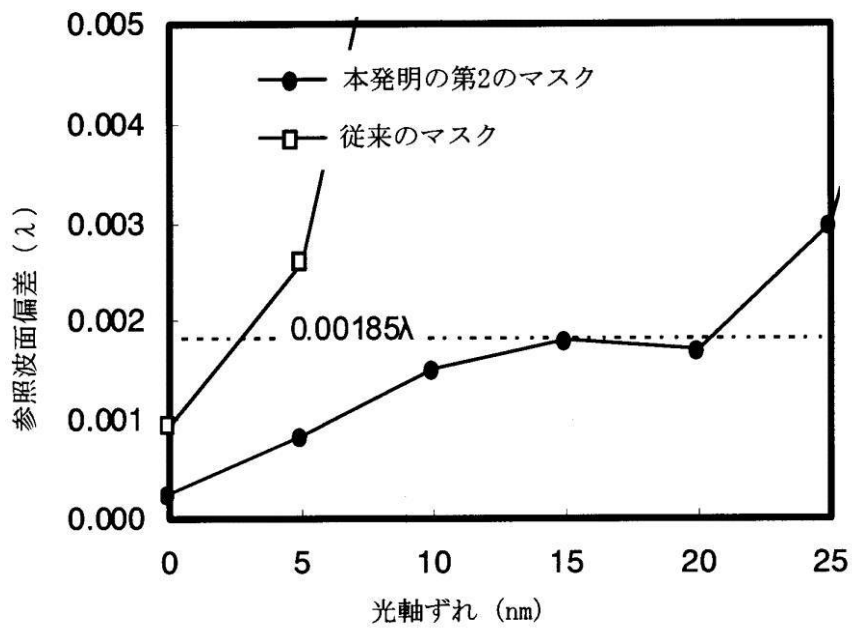
【 図 8 】



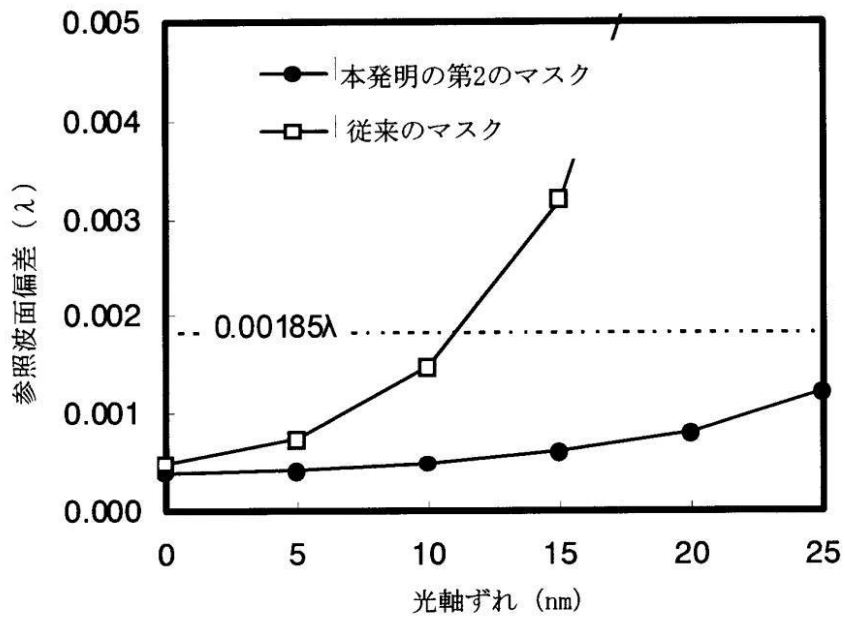
【 図 9 】



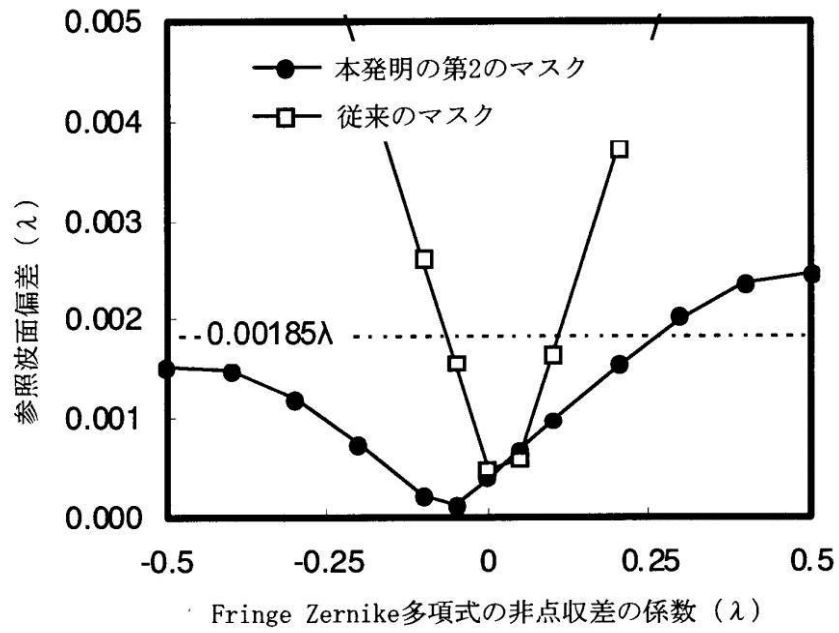
【図 10】



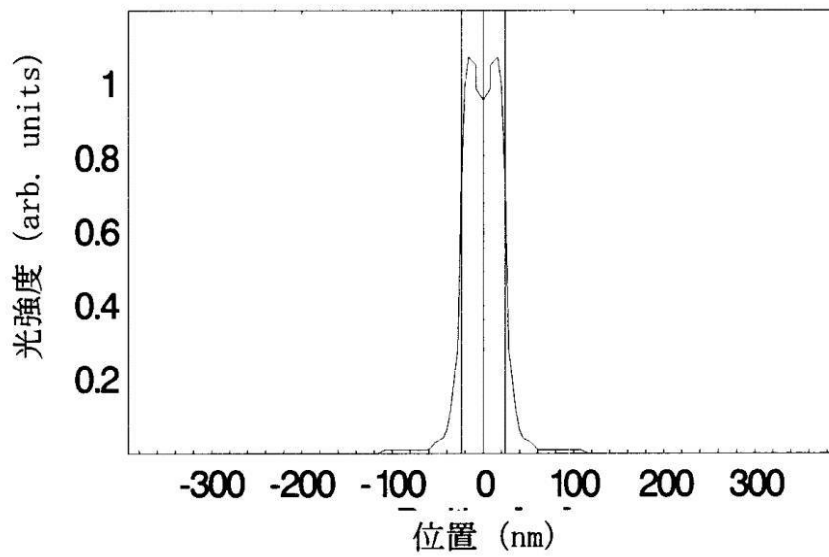
【図 11】



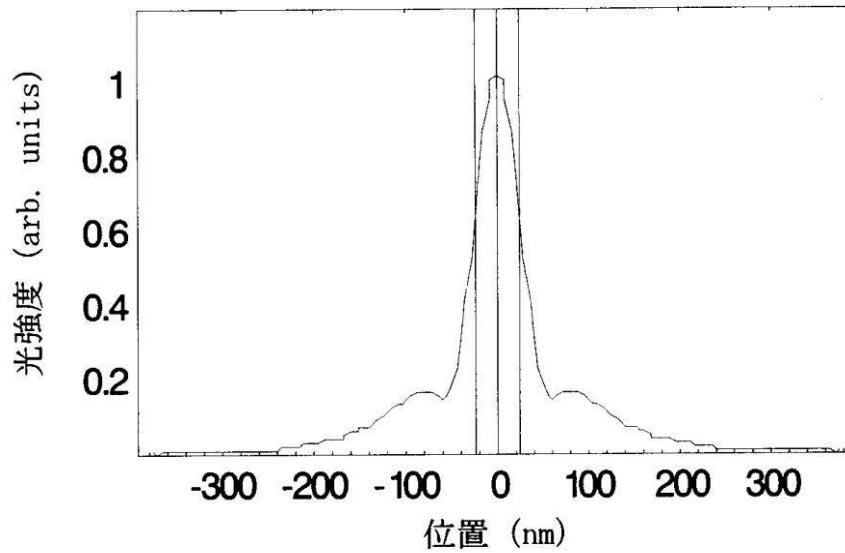
【図 1 2】



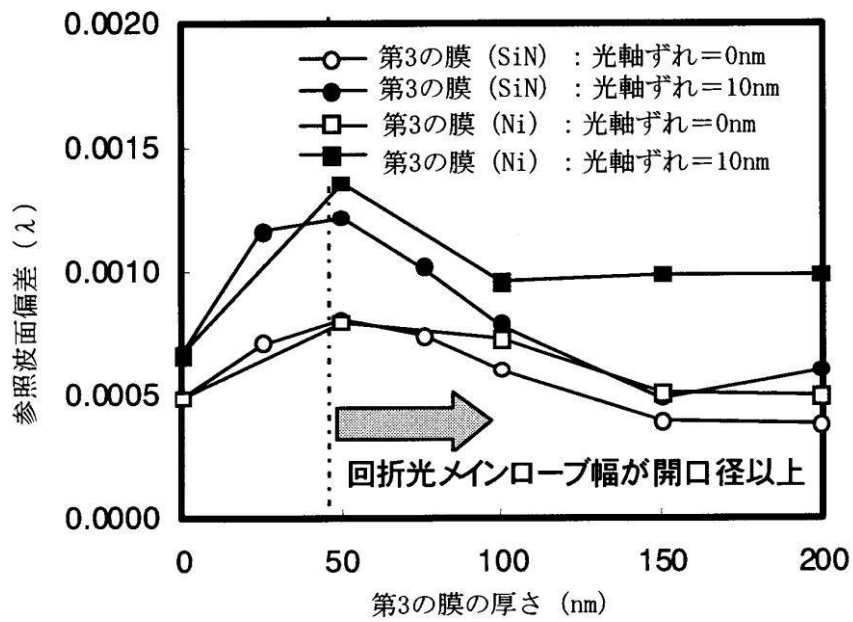
【図 1 3】



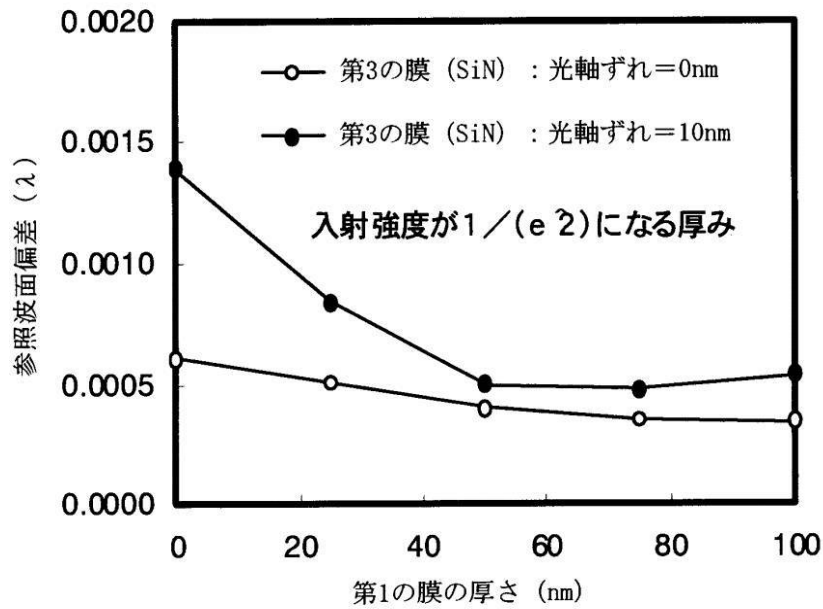
【図 1 4】



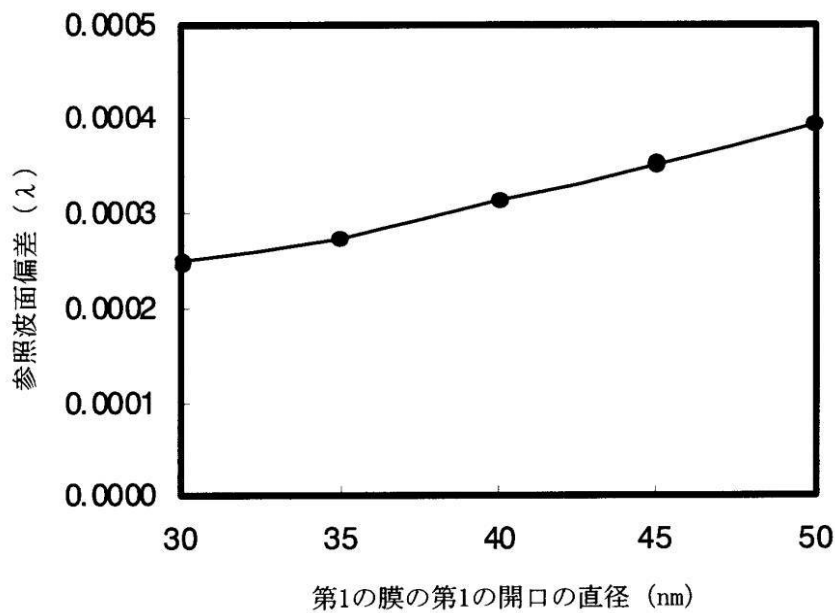
【図 1 5】



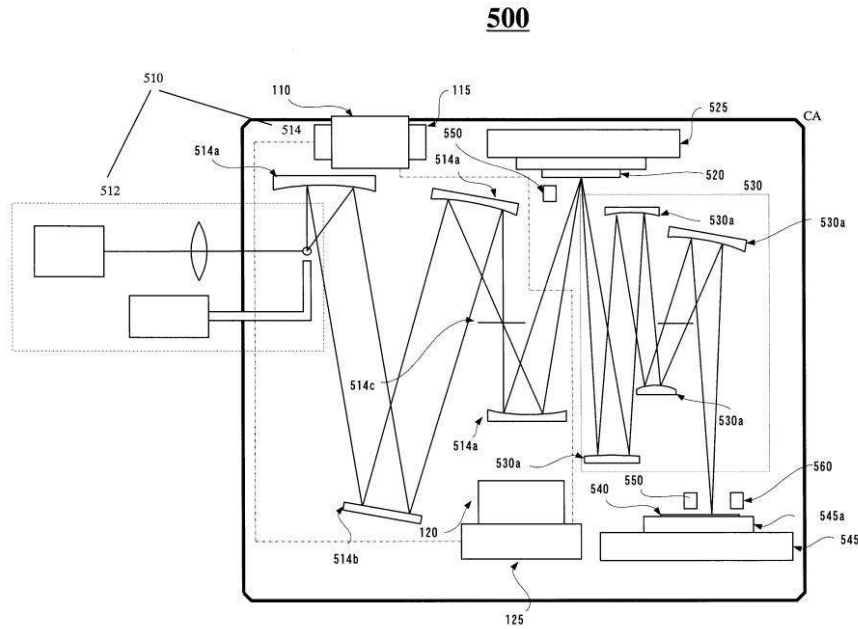
【図 16】



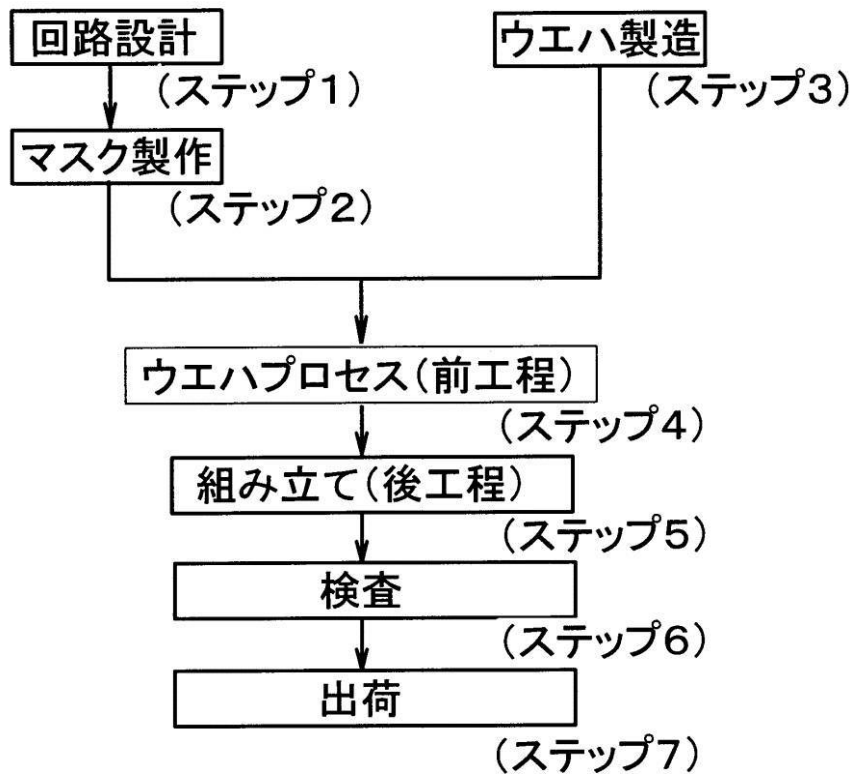
【図 17】



【図18】



【図19】



【図 20】

