

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3774590号
(P3774590)

(45) 発行日 平成18年5月17日(2006.5.17)

(24) 登録日 平成18年2月24日(2006.2.24)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/027 (2006.01)
G O 2 B 19/00 (2006.01)
G O 3 F 7/20 (2006.01)
G O 3 F 7/207 (2006.01)

H O 1 L 21/30 5 1 6 A
G O 2 B 19/00
G O 3 F 7/20 5 2 1
G O 3 F 7/207 H

請求項の数 3 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平11-149586
(22) 出願日 平成11年5月28日(1999.5.28)
(65) 公開番号 特開2000-340488(P2000-340488A)
(43) 公開日 平成12年12月8日(2000.12.8)
審査請求日 平成15年6月17日(2003.6.17)

(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 100086818
弁理士 高梨 幸雄
(72) 発明者 大崎 美紀
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 岩本 勉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 投影露光装置及びそれを用いたデバイスの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光源からの光でレチクルのパターンを照明する照明光学系と、前記レチクルのパターンの像をウエハに投影する投影光学系と、を備える投影露光装置において、

前記投影光学系により投影された特定パターンの像の光強度分布を検出する光強度検出手段と、

前記光強度検出手段からのデータに基づいて前記投影光学系の波面収差を位相回復法により算出する波面収差算出手段と、を有し、

前記特定のパターンは、前記ウエハを露光する際には使用されない $0 \leq \text{値} < 0.1$ ($\text{値} = \text{前記照明光学系の開口数} / \text{前記投影光学系の開口数}$) の略コヒーレントな照明条件で前記照明光学系により照明されることを特徴とする投影露光装置。

10

【請求項2】

光源からの光でレチクルのパターンを照明する照明光学系と、前記レチクルのパターンの像をウエハに投影する投影光学系と、前記レチクルと前記ウエハとの位置合わせをするアライメント光学系と、を備える投影露光装置において、

前記投影光学系により投影された特定パターンの像の光強度分布を検出する光強度検出手段と、

前記光強度検出手段からのデータに基づいて前記投影光学系の波面収差を位相回復法により算出する波面収差算出手段と、を有し、

前記特定のパターンは、前記ウエハを露光する際には使用されない $0 \leq \text{値} < 0.1$ (

20

= 前記照明光学系の開口数 / 前記投影光学系の開口数) の略コヒーレントな照明条件で前記アライメント光学系により照明されることを特徴とする投影露光装置。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 の投影露光装置を用いてウエハを露光してデバイスを製造することを特徴とするデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は投影露光装置及びそれを用いたデバイスの製造方法に関し、例えば IC や LSI 等の半導体デバイスや CCD 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工程のうち、リソグラフィ工程において使用される投影露光装置や走査型露光装置においてレチクル等の第 1 物体面上のパターンをウエハ等の第 2 物体面上に投影光学系により投影する際に好適なものである。

10

【0002】

【従来の技術】

近年、IC、LSI 等の半導体デバイスの微細加工技術として、マスク（レチクル）の回路パターン像を投影光学系（投影レンズ）により感光基板上に形成し、感光基板をステップアンドリピート方式またはステップアンドスキャン方式で露光する縮小投影露光装置（ステッパー）や走査型の投影露光装置が種々と提案されている。

【0003】

この種の露光装置では、レチクル上のパターンを所定の倍率（縮小率）で正確にウエハ上に転写することが要求されている。この要求に応えるためには、結像性能のよい、収差を抑えた投影レンズ（投影光学系）を用いることが重要である。特に、近年、半導体デバイスの一層の微細化要求により、投影光学系の通常の結像性能を超えるパターンを転写する場合が、多くなってきており、この結果、転写するパターンは、投影光学系の収差により敏感になってきている。一方で、投影レンズには露光面積の拡大、高 NA 化が求められており、これは収差補正をより困難にしている。

20

【0004】

こうした状況の中、露光装置に投影レンズを搭載した状態、すなわち実際に露光に使用する状態で、投影レンズの結像性能、中でも波面収差を計測したいとの要求が強くある。

30

【0005】

投影レンズの波面収差の計測方法の 1 つとして、位相回復法がある。位相回復法は、主に電子顕微鏡や大きな収差が存在する天体望遠鏡等における解像度向上に用いられてきた方法で、複数位置、例えば像面、瞳面、デフォーカス位置等における像の強度分布から像の位相分布を求めるものである。その位相分布から光学系の波面収差を算出している。

【0006】

位相回復法では、実際に計測した像面での像の強度分布を用い、任意に位相を与えた後、フーリエ変換し、瞳面での複素振幅分布を求める。次に、得られた複素振幅分布のうち、位相部はそのままとし、強度部にあたる絶対値のみを実際の測定値に応じた値（瞳面での強度の平方根）に置き換え、これを新たな複素振幅分布とする。この新たな複素振幅分布を逆フーリエ変換し、像面上での複素振幅分布を求め、再び、位相部のみそのままとし、強度を実測値に置き換える。

40

【0007】

以上のような計算を繰り返し行うことで、像面及び瞳面での複素振幅分布を算出し、瞳面での複素振幅分布の位相分布から、投影レンズの波面収差を算出している。尚、位相回復法については後に本発明の実施形態において詳述している。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

位相回復法により、投影レンズの波面収差を算出する場合、理想的にはコヒーレント照明（ $\sigma = 0$ ）の条件下で像の強度分布を計測する必要がある。この為、（照明系の開口数

50

／投影レンズの開口数)の値が大きくなるに従い、算出される波面収差の誤差が大きくなる。例えば、波面収差を0.01程度の精度で算出する場合、0.1とする必要があり、0.03程度の精度を落とした場合でも0.2とする必要がある。一方、レチクル上のパターンをウエハに焼き付ける場合には、部分的コヒーレントな照明条件下でレチクルを照明する。このため、露光装置の照明系は、通常 $0.2 < \text{開口数} < 0.9$ 程度であり、0.2となるような照明系は実装されていない。さらに、露光装置の照明系では、インコヒーレント化するための数々の工夫もされている。

【0009】

すなわち、実際に露光の際に用いられる照明光学系をそのまま用いて、位相回復法により投影レンズの波面収差を求める場合には、精度上の問題がある。

10

【0010】

本発明はマスクのパターンをウエハ上に投影する投影光学系(投影レンズ)の波面収差を高精度に測定することができ、高集積度のデバイスを容易に製造することができる投影露光装置及びそれを用いたデバイスの製造方法の提供を目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】

請求項1の発明の投影露光装置は、光源からの光でレチクルのパターンを照明する照明光学系と、前記レチクルのパターンの像をウエハに投影する投影光学系と、を備える投影露光装置において、

前記投影光学系により投影された特定パターンの像の光強度分布を検出する光強度検出手段と、

20

前記光強度検出手段からのデータに基づいて前記投影光学系の波面収差を位相回復法により算出する波面収差算出手段と、を有し、

前記特定のパターンは、前記ウエハを露光する際には使用されない $0 < \text{開口数} < 0.1$ ($= \text{前記照明光学系の開口数} / \text{前記投影光学系の開口数}$)の略コヒーレントな照明条件で前記照明光学系により照明されることを特徴としている。

【0012】

請求項2の発明の投影露光装置は、光源からの光でレチクルのパターンを照明する照明光学系と、前記レチクルのパターンの像をウエハに投影する投影光学系と、前記レチクルと前記ウエハとの位置合わせをするアライメント光学系と、を備える投影露光装置において、

30

前記投影光学系により投影された特定パターンの像の光強度分布を検出する光強度検出手段と、

前記光強度検出手段からのデータに基づいて前記投影光学系の波面収差を位相回復法により算出する波面収差算出手段と、を有し、

前記特定のパターンは、前記ウエハを露光する際には使用されない $0 < \text{開口数} < 0.1$ ($= \text{前記照明光学系の開口数} / \text{前記投影光学系の開口数}$)の略コヒーレントな照明条件で前記アライメント光学系により照明されることを特徴としている。

【0013】

請求項3の発明のデバイスの製造方法は、請求項1又は2の投影露光装置を用いてウエハを露光してデバイスを製造することを特徴としている。

40

【0038】

【発明の実施の形態】

図1は本発明の実施形態1の要部概略図である。同図は第1物体としてのレチクル2面上のパターン(転写用パターン)を投影レンズ1で第2物体としてのウエハ3面上に投影露光する露光装置を示している。本実施形態は従来の位相回復法による波面算出機構を有する露光装置に比べて、光路中から挿脱可能なコヒーレント化光学系16を露光用照明系13に追加したことが大きく異なっている。

【0039】

本実施形態において投影レンズ1の波面収差を求める位相回復法では、まず露光用照明系

50

(照明光学系) 13からの露光波長の照明光束ILでコヒーレント化光学系16を介してレチクル2または他の物体上のパターン(特定パターン)を照明している。そして、特定パターンの像を投影レンズ1でウエハステージ4に載置した光強度検出手段8上に結像させ、該光強度検出手段8で特定パターン像の強度分布を計測する。次にウエハステージ4をステージ駆動装置5により光軸AX方向に駆動し、光強度検出手段8上で、特定パターン像がデフォーカスした状態にし、この時の特定パターン像の強度分布を計測する。これらの2つのパターン像の強度分布の結果を用いて、情報処理装置(波面収差測定手段)11によりフーリエ変換、逆変換等の演算処理を繰り返し行うことにより、投影レンズ1の波面収差を算出している。尚、図1では投影光学系1の光軸上の波面収差を測定する場合を示している。

10

【0040】

図2は図1の露光用照明系13の詳細を説明するための概略図である。図2において超高压水銀ランプ、エキシマレーザー等の光源17から出た光束をビームエキスパンダやシリンドリカルレンズ等からなる光束整形部18により照明光束を所望の形状に整形し、インコヒーレント化部19に入射させている。

【0041】

次にインコヒーレント化部19からのインコヒーレントな光束をズームレンズからなる照明状態調整部20により照明値を調節した後、複数のレンズを2次元的に配列したレンズアレイ(ハエの目光学系)21を通り、射出側の絞り22により有効光源を決定し、レンズ系23に導光している。そしてレンズ系23からの光束で、コヒーレント化光学系16を介して所望の値でレチクル面2を照明している。

20

【0042】

本実施形態では光源17として、エキシマレーザーを用いている為に、光束整形部18と照明状態調整部20との間にオプティカルパイプ等からなるインコヒーレント化部19を設けているが、光源としてインコヒーレント光を放射する水銀ランプ等を用いたときにはインコヒーレント化部19は不要である。

【0043】

位相回復法を用いて投影レンズ1の波面収差を算出するためには、理想的にはコヒーレント照明($\gamma = 0$)でレチクル2上のパターンを照明する必要があり、 $0 < \gamma$ となると算出誤差が発生し、 γ が大きくなるほど誤差も大きくなる。

30

【0044】

一方、半導体デバイス製造用の露光装置の投影レンズ1の波面収差は、通常 0.1λ (λ = 波長)以下であり、この波面収差を評価するためには、少なくとも 0.01λ 以下で波面収差を算出する必要がある。位相回復法を用いて 0.01λ 以下の精度で波面収差を算出するためには、 0.1λ の光でレチクル上のパターンを照明することが必要である。また、露光を行うことによる環境変化による波面収差の相対的な変化などを定性的に評価する場合でも、 0.03λ 程度の精度は必要であり、この場合でも、 0.2λ の光でレチクル上のパターンを照明する必要がある。

【0045】

露光用照明系(第1の光学系)13は、通常、実際の回路パターンをウエハ3に露光する際には部分的コヒーレントまたはインコヒーレントな状態でレチクル2を照明(第1の照明条件)しており、露光用照明系13のみを用いて、位相回復法を実施した場合、コヒーレント照明とすることができず、露光用照明系13の γ が最も小さくなるようにして計測を行っていた。ところが、通常の半導体デバイス製造用の露光装置に実装されているのは、最も小さいものでも、 0.3 程度である。この為、位相回復法を用いて十分な精度で波面収差を算出することができなかった。

40

【0046】

そこで本実施形態では、波面収差の測定時には、図1に示したようにコヒーレント化光学系16をレチクル2と露光照明系13との間に設置し、収束球面波であった照明光束を平行な波面の光束に変換することにより、レチクル2上のパターンをコヒーレント照明また

50

は略コヒーレント照明（第2の照明条件）している。これによって、位相回復法による波面収差の算出を高い精度で行うことを可能としている。

【0047】

なお、本実施形態では、コヒーレント化光学系16を照明光学系13につけ加えたが、照明光学系中13に構成されているレンズ等を取り除いたり、また取り除いた後で別の光学系をつけ加えて、コヒーレント化を実施するようにしても良い。

【0048】

以上のように本実施形態ではレチクル2のパターンをウエハ3に露光による焼き付ける露光時と位相回復法による投影レンズ1の波面収差算出時とでレチクル2の照明条件を変えている。特に露光時には、部分的コヒーレント光あるいはインコヒーレント光でレチクル2を照明し（第1の照明条件）、位相回復法による波面収差算出時には、レチクル上のパターンをコヒーレント光あるいは略コヒーレント光（ 0.2 、望ましくは 0.1 ）で照明し（第2の照明条件）、像面、デフォーカス面での光強度分布を計測して、投影レンズ1の波面収差を求めている。

【0049】

また、露光時にはコヒーレント化光学系16を光路中から取り除き、露光照明系13をそのまま用いて第1の照明条件であるところの部分的コヒーレントな状態でレチクルを照明している。そして、位相回復法を利用した波面収差の測定実施時には、第2の照明条件であるコヒーレント照明あるいは略コヒーレント照明でレチクルを照明するように、露光用照明系から一部の光学系を取り外したり、逆にコヒーレント化光学系16を追加したり、その両者を行ったりすることにより、精度よく投影光学系の波面収差を算出している。また、空間的コヒーレンシーや光量を露光時と位相回復法実施時とで最適な状態となるように光源を変えることにより、精度よく投影光学系の波面収差を算出している。さらに、露光時と位相回復法実施時とで、別々の照明光学系（第1の光学系と第2の光学系）を使用し、露光時には部分的コヒーレントな状態でレチクルを照明し、位相回復法を利用した投影レンズの波面収差の測定実施時には、コヒーレントあるいは略コヒーレントな状態でレチクルを照明することにより、精度よく投影光学系の波面収差を算出している。

【0050】

また、第2の光学系として、露光波長の光を用いたレチクルやウエハの位置合わせ用のアライメント光学系またはその一部を用い、その照明条件を（ 0.2 ）とすることにより、露光装置内に新たな光学系を設置せずに、あるいは最小限の光学系の追加で、位相回復法による波面収差を精度よく算出している。また、アライメント光学系の照明条件を、アライメント計測時と位相回復法による波面収差計測時とで変えることで、両者にとって最適な状態で計測している。

【0051】

図3、図4は各々本実施形態において用いている投影レンズの波面収差を計測する位相回復法のアルゴリズムを示す説明図である。

【0052】

位相回復法は、主に電子顕微鏡や大きな収差が存在する天体望遠鏡等における解像度向上に用いられてきた方法である。その特徴は、複数位置、例えば像面、瞳面、デフォーカス位置等における像の強度分布から像の位相分布を求め、その位相分布から光学系（投影レンズ）の波面収差を算出している。

【0053】

まず、図3の位相回復法のアルゴリズムを用いて説明する。まず、計測した像面での像の強度分布を用い、像に任意の位相を与えた後、フーリエ変換し、瞳面での複素振幅分布を求める。次に、得られた複素振幅分布のうち、位相部はそのままとし、強度部にあたる絶対値のみを実際の測定値に応じた値（瞳面での強度の平方根）に置き換え、これを新たな複素振幅分布とする。この新たな複素振幅分布を逆フーリエ変換し、像面上での複素振幅分布を求め、再び、位相部のみをそのままとし、強度を実測値に置き換える。以上のような計算を繰り返し行うことで、像面及び瞳面での像の複素振幅分布を算出し、瞳面での複

10

20

30

40

50

素振幅分布の位相分布から、レンズの波面収差を算出している。

【 0 0 5 4 】

図 4 はフォトリソグラフィのように瞳面での強度分布測定が難しい場合の位相回復法のアルゴリズムを示している。図 4 のアルゴリズムでは瞳面を介して、像面とデフォーカス面との間で、変換 - 逆変換を繰り返すことで、像面での複素振幅分布とデフォーカスした面での複素振幅分布を算出し、その結果から瞳の位相分布、すなわち投影レンズの波面収差を求めている。

【 0 0 5 5 】

図 5 は本発明の実施形態 2 の要部概略図である。図 5 において図 2 で示した要素と同一要素には同符号を付している。

10

【 0 0 5 6 】

本実施形態では、図 2 に示した露光用照明系 1 3 内の照明状態調整部 2 0 及び絞り 2 2 を露光時と位相回復法の実施時とで照明状態調整部 2 4 と絞り 2 5 に変更することを特徴としている。図 2 に示したように、露光時の照明条件を決定しているのは、露光用照明系 1 3 内の照明状態調整部 2 0 と絞り 2 2 である。照明状態調整部 2 0 は主としてズーム光学系からなり、露光時の照明条件にあわせて、有効光源の大きさを変えている。

【 0 0 5 7 】

一般的に、実際にパターンをウエハに露光する際の照明条件は、0.3 ~ 0.8 程度であるので、この範囲をカバーできるようなズーム光学系である。一方、位相回復法では、

0.2 以下、望ましくは 0.1 以下の略コヒーレントな状態でレチクルを照明する必要がある。最も簡便に 0.2 以下で照明するためには、図 2 に示した絞り 2 2 を絞ることで 0.2 とすることができる。この場合、照明状態調整部 2 0 は 0.3 程度までの光束の広がりがあるため、絞り 2 2 の部分でケラレが発生し、この結果光量が少なくなる場合がある。特に 0.1 以下とすると光量低下が生じ、強度分布を計測する位相回復法では、波面収差の算出精度に影響を及ぼすことがある。また、照明状態調整部 2 0 として 0.1 ~ 0.2 程度までカバーするようなズーム光学系を用いることも考えられるが、ズーム比を大きくすると照明状態調整部 2 0 が大きく重くなる。また、全てのズームレンズで照度ムラを抑えることが難しくなってくる。

20

【 0 0 5 8 】

そこで、本実施形態では、図 5 に示したように位相回復法による投影レンズの波面収差測定実施時には、照明光学系 1 3 内の照明状態調整部を位相回復法用の照明状態調整部 2 4 へ変更し、かつ 0.2 以下の絞り 2 5 へ変更している。すなわち、露光時には、0.3 程度から 0.8 程度まで変化するようなズーム光学系を照明状態調整部 2 0 に用い、位相回復法実施時には、0.2 以下となるような位相回復法用の照明状態調整部 2 4 を用いることにより、露光及び位相回復のそれぞれにとって最良の状態でレチクルを照明している。これによって、投影レンズ 1 の波面収差を精度よく算出している。

30

【 0 0 5 9 】

図 6 は本発明の実施形態 3 の要部概略図である。図 6 において図 2 で示した要素と同一要素には同符号を付している。

【 0 0 6 0 】

40

本実施形態では、図 6 に示したように位相回復法による波面収差測定実施時に、光路中より挿脱可能なミラー 2 7 を絞り 2 2 とレンズ 2 3 との間に挿入し、第 2 の光源 2 6 から露光波長と同一の波長の光束を出射させ、ミラー 2 7、レンズ部 2 3 を介して、レチクル 2 上のパターンをコヒーレントあるいは略コヒーレントな状態で照明している点が図 2 の実施形態 1 と異なっている。

【 0 0 6 1 】

露光用の光源 1 7 とは別に位相回復法用の光源 2 6 を設けることで、位相回復法にとって最適な光量でレチクル 2 を照明することが可能であり、精度よく波面収差を算出することができる。また、図 6 に示してはいないが、第 2 の光源 2 6 とミラー 2 7 との間やミラー 2 7 とレンズ部 2 3 との間にレンズ等を配置して、コヒーレント照明でレチクルを照明す

50

るようにしてもよい。

【0062】

図7は本発明の実施形態4の要部概略図である。図7において図1で示した要素と同一要素には同符号を付している。図7では投影光学系1の軸外の波面収差を求める場合を示している。

【0063】

本実施形態では図7に示したように、露光用照明系13以外に第2の光学系14を設けている。そして、位相回復法を用いて投影レンズ1の波面収差を検出する場合には、第2の光学系14でレチクル2上のパターンを照明するようにしている。また、実露光時には、第2の光学系14及びミラー15が、露光光束をけらないように図7の矢印方向に移動し
10
光路中より挿脱可能となっている。さらに第2の照明光学系14の照明条件をコヒーレント照明($\gamma = 0$)あるいは略コヒーレント照明($0.2 < \gamma < 1$)とすることにより、位相回復法にとって理想的な状態で投影レンズ1の波面収差を算出することを可能としている。

【0064】

本実施形態では、露光用照明系13には、なんら改造、変更を加える必要がなく、非常に簡便な方法で位相回復法にとって最適な照明状態とすることを可能としている。また、第2の照明光学系14の光源としては、露光用の光源と同一のものをを用いてもよいし、露光用光源と同一の波長の別の光源を用いてもよい。

【0065】

図8は本発明の実施形態5の要部概略図である。図8において図1で示した要素と同一要素には同符号を付している。
20

【0066】

本実施形態ではレチクル2とウエハ3との位置合わせ(アライメント)を行うアライメント用光学系を利用して、位相回復法による投影レンズ1の波面収差を算出可能としている。図8において、アライメント光学系は、対物レンズ28、ビームスプリッタ29、リレー光学系31、照明系リレー光学系33、光源34、センサー30等とからなる。露光光と同一の波長の光が光源34より射出され、照明系リレー光学系33、対物レンズ28を介してレチクル2上のアライメントマークを照明し、アライメントマークの像を対物レンズ28、リレー光学系31を介してセンサー30に結像させている。また、照明系リレー光学系33、対物レンズ28、投影レンズ1を介して、ウエハ3上のアライメントマーク
30
を照明し、投影レンズ1、対物レンズ28、リレー光学系31を介してセンサー30上に結像させ、ウエハ3上のアライメントマークを観察することもできる。また、リレー光学系31とセンサー30との間等にさらに光学系を配置する場合もある。

【0067】

次に、上記アライメント光学系を用いた位相回復法に関して以下に説明する。アライメント計測時には、通常 $0.2 < \gamma < 1.0$ でアライメントマークを照明する。そこで、図8に示したアライメント光学系に、切替式の絞り32を照明系リレー光学系33とビームスプリッタ29との間に設置し、アライメント時と位相回復法による波面収差測定実施時とで、 γ 値を切り換え可能とし、位相回復法による波面収差測定実施時には、 $\gamma = 0.2$ とするような絞りに切り換えて、レチクル2上のパターンを照明し、その像の強度分布を光強度測定装置8で計測している。これにより、投影レンズ1の波面収差を算出している。すなわち、図8に示したようにアライメント光学系内に切替式の絞り32を設置し、アライメント計測時と位相回復法による波面収差測定実施時とで、お互いが最適な照明状態となるように絞りを切り換えることにより、なんら新規の光学系を用いなくとも、高精度で位相回復法を実施し、投影レンズ1の波面収差を算出することを可能としている。また、アライメント光学系の光源34は、図8では、別光源としたが、露光用光源と同一のものをを用いてもよい。また、各実施形態で示した光強度検出装置8は、CCDのような光センサーをステージ4上に搭載してもよいし、不図示の拡大光学系を用いて、強度分布を拡大した後、光センサーで計測してもよい。

【0068】

10

20

30

40

50

次に本発明の実施形態 6 について説明する。構成は図 8 の実施形態 5 で示したのとほぼ同一である。

【0069】

本実施形態は実施形態 5 に比べて、ステージ 4 が、nm オーダーの高精度で 2 次元的に駆動できることを利用して、光強度検出装置 8 として、ナイフエッジ法を用いて像面及びその近傍の光強度分布を計測することが異なっている。ナイフエッジ法を用いることにより、ステージ 4 上に拡大光学系のような重量物を搭載せずに、光センサーをステージ 4 上に直接搭載した場合と比較して、光強度分布を高精度で計測することができる。また、拡大光学系とナイフエッジ法とを併用して、光強度分布を高精度で計測するようにしてもよい。

10

【0070】

図 9 は本発明の実施形態 7 の要部概略図である。図 9 において図 8 で示した要素と同一要素には同符合を付している。

【0071】

本実施形態では、図 9 に示したようにウエハステージ 4 上に反射部（凹面ミラー）9 を設け、レチクル 2 上のパターンを投影レンズ 1 を 2 回介して中間像面 3 6 上に結像させ、レチクル 2 側でパターンの像の強度分布を計測し、位相回復法で投影レンズ 1 の波面収差を計測している。以下にその計測方法を詳細に説明する。

【0072】

第 2 の光源 3 4 から露光波長と同一の波長の光束を射出し、照明系リレー光学系 3 3 と代替絞り 3 2、ビームスプリッタ 2 9 a、対物レンズ 2 8 を介して、略コヒーレントな照明条件（0.2 以下）でレチクル 2 上のパターンを照明する。レチクル 2 上のパターンは、投影レンズ 1 によりウエハ 3 と同じ高さに結像するが、ウエハステージ 4 上に構成されたミラー 9 により反射され、再び投影レンズ 1、ハーフミラー 7 を介して、中間像面 3 6 に結像する。ここで、ミラー 9 は球面ミラーであり、その曲率中心がウエハ 3 とほぼ同じ高さになるように構成されている。投影レンズ 1 を 2 回介して中間像面 3 6 に結像したレチクル 2 上のパターンは、拡大光学系 3 5、ミラー 1 5、ビームスプリッタ 2 9 b、リレー光学系 3 1 を介して、センサー 3 0 上に拡大されて結像する。また、拡大光学系 3 5 を図面矢印方向へ動かしたり、センサー 3 0 を動かすことにより、フォーカス状態、デフォーカス状態の強度分布を計測する。

20

30

【0073】

以上のような構成をとることにより、投影レンズ 1 を 2 回介して強度分布を計測できるため、投影レンズを 1 回だけ介した方法と比較して、収差の感度を 2 倍にして計測することが可能である。また、拡大光学系 3 5 を使用して、強度分布を拡大してセンサー 3 0 に結像させるため、精度よく強度分布を計測することができ、波面収差を高精度で算出することが可能である。さらに、ウエハステージ 4 上には、ミラーを構成するだけでよいから、強度分布を計測するためのセンサー等の重量物を搭載する必要がないという利点もある。さらに、本実施形態では、図 8 の実施形態 5 と同様に、アライメント光学系を利用して、位相回復法を行うように構成したため、センサー 3 0 やリレー光学系 3 1、光源 3 4、照明系リレー光学系 3 3、対物レンズ 2 8 等を共用しているため、必要最小限の光学系の追加で位相回復法を実施している。

40

【0074】

なお、本実施形態では、ミラー 9 として球面ミラーを用いたが、反射面がウエハ面とほぼ同じ高さになるような平面ミラーでもよく、この場合、波面収差の成分のうち、球面収差、非点収差などの対称成分のみ、感度が 2 倍になる。対称成分のみ 2 倍になる理由は、投影レンズの行き（レチクル側からウエハ側）と帰り（ウエハ側からレチクル側）とで投影レンズを通る光束が、主光線を軸に回転対称になるため、非対称な成分はキャンセルされるためである。また、図 9 では凹面のミラーが図示されているが、曲率中心がウエハ面とほぼ同じ高さになるような凸面ミラーでもよい。

【0075】

50

図10は本発明の実施形態8の要部概略図である。図10において図9で示した要素と同一要素には同符号を付している。

【0076】

本実施形態では、位相回復法により算出された波面収差に基づき、露光装置上で、図10に示したように投影レンズ1内に設置した収差補正光学系12により収差補正を行ったり、投影レンズ1内の各レンズの空気間隔等を調整することを特徴とする。これにより、従来と比較して、収差を低減した状態で露光することを可能としている。また、収差補正光学系12としては、例えば、特開平10-242048号公報にあるような同一形状からなる1対の非球面光学素子を非球面が対向するように配置された光学素子などを用いることができる。なお、図10では、収差補正光学系12を投影レンズ1の瞳面近傍に設置したが、投影レンズ1とウエハ3間や、投影レンズ1とレチクル2間に設置してもよいし、複数の素子を設置してもよい。

10

【0077】

なお、以上の実施形態では、フォーカス面(像面)と1つのデフォーカス面から、投影レンズ1の波面収差を算出したが、フォーカス面(像面)を用いずに2つの異なるデフォーカス面での像の強度分布から算出することも可能である。また、フォーカス面(像面)と複数のデフォーカス面、すなわち3つ以上の位置での像の強度分布を用いて、波面収差を算出することも可能である。また、収差補正光学系として一対の非球面光学素子の例を示したが、これに限るわけではない。例えば、投影レンズ内の複数のレンズを駆動して、収差補正を行ったり、投影レンズとウエハ間や投影レンズとレチクル間に1枚または、2枚以上の平行平板を設置し、それらの平行平板の角度を変化させることなどでも収差を補正することが可能である。

20

【0078】

本発明では以上の各実施形態に示す投影露光装置を用いて、マスクとウエハとの相対的な位置検出を行った後に、マスク面上のパターンをウエハ面に転写し、該ウエハを現像処理工程を介してデバイスを製造している。

【0079】

本発明によれば、露光時と位相回復法実施時とで照明条件を変えることにより、露光装置本体上において位相回復法により高精度で投影レンズの波面収差を算出することが可能となる。特に位相回復法実施時には、略コヒーレントな状態でレチクルを照明できるように露光用照明系に光学系を追加したり、露光用照明系の一部のみ利用したり、一部を交換するなどの照明光学系の変更により、高精度で波面収差を算出することが可能となる。

30

【0080】

また、位相回復法実施時には、露光用照明系とは異なる第2の光学系を用いて、略コヒーレントな状態でレチクルを照明することによっても、露光装置本体上において位相回復法により高精度で投影レンズの波面収差を算出することが可能となる。特に第2の光学系として、アライメント光学系を利用することにより、新規に光学系を設置せずに、露光装置本体上において位相回復法により高精度で投影レンズの波面収差を算出することが可能となる。

【0081】

さらに、算出された波面収差に基づき、投影レンズの内外に設置された収差補正光学系等を用いて、投影レンズの波面収差を調整することにより、波面収差の極めて少ない状態で露光することが可能となる。

40

【0082】

以上の各実施形態は半導体素子製造用のステップアンドリピート方式の投影露光装置について述べてきたが、本発明はその他、スキャン露光装置や、液晶露光装置に適用可能である。

【0083】

次に上記説明した投影露光装置を利用した半導体デバイスの製造方法を説明する。

【0084】

50

図10は半導体デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、或は液晶パネルやCCD等）の製造のフローチャートである。

【0085】

本実施例においてステップ1（回路設計）では半導体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。

【0086】

一方、ステップ3（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ4（ウエハプロセス）は前行程と呼ばれ、前記用意したマスクとウエハを用いてリソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。

【0087】

次のステップ5（組立）は後行程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、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。

【0088】

ステップ6（検査）ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行なう。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。

【0089】

図11は上記ステップ4のウエハプロセスの詳細なフローチャートである。まず、ステップ11（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）ではウエハ表面に絶縁膜を形成する。

【0090】

ステップ13（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14（イオン打ち込み）ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では前記説明した露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。

【0091】

ステップ17（現像）では露光したウエハを現像する。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なうことによってウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【0092】

尚、本実施例の製造方法を用いれば、高集積度の半導体デバイスを容易に製造することができる。

【0093】

【発明の効果】

本発明によれば、以上のように各要素を特定することにより、マスクのパターンをウエハ上に投影する投影光学系（投影レンズ）の波面収差を高精度に測定することができ、高集積度のデバイスを容易に製造することができる投影露光装置及びそれを用いたデバイスの製造方法を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施形態1の要部概略図

【図2】 図1の露光用照明系を模式的に示した図

【図3】 本発明に係る位相回復法のアルゴリズム1

【図4】 本発明に係る位相回復法のアルゴリズム2

【図5】 本発明の実施形態2の要部概略図

【図6】 本発明の実施形態3の要部概略図

【図7】 本発明の実施形態4の要部概略図

【図8】 本発明の実施形態5または6の要部概略図

【図9】 本発明の実施形態7の要部概略図

10

20

30

40

50

【図 1 0】 本発明の実施形態 8 の要部概略図

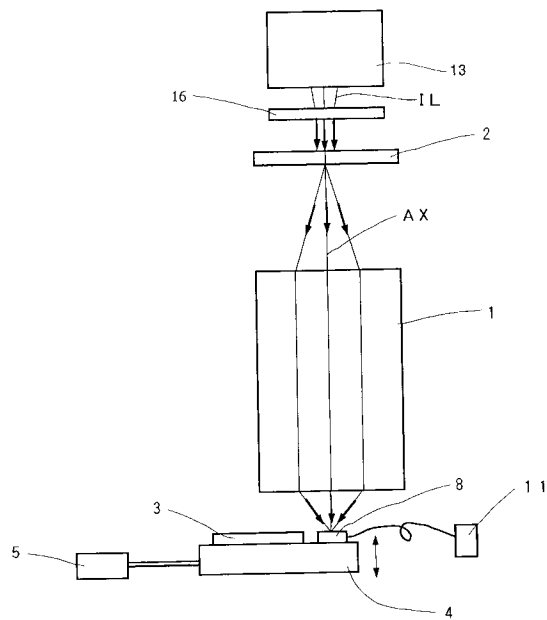
【図 1 1】 本発明のデバイスの製造方法のフローチャート

【図 1 2】 本発明のデバイスの製造方法のフローチャート

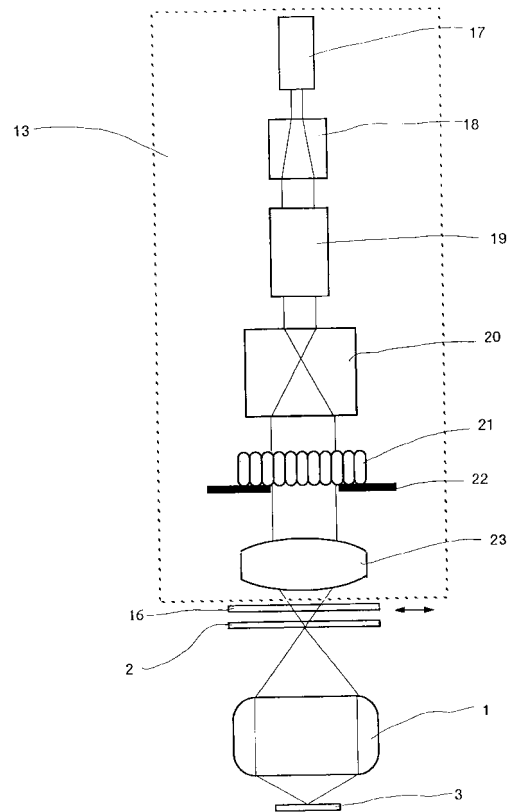
【符号の説明】

1 : 投影レンズ	
2 : レチクル	
3 : ウエハ	
4 : ウエハステージ	
5 : ステージ駆動装置	
6 : 平面ミラー	10
7 : ハーフミラー	
8 : 光強度測定装置	
9 : 球面ミラー	
1 0 : 拡大光学系	
1 1 : 情報処理装置	
1 2 : 収差補正光学系	
1 3 : 露光用照明系 (第 1 の光学系)	
1 4 : 第 2 の光学系	
1 5 : ミラー	
1 6 : コヒーレント化光学系	20
1 7 : (第 1 の) 光源	
1 8 : 光束整形部	
1 9 : インコヒーレント化部	
2 0 : 照明状態調整部	
2 1 : ハエの目光学系	
2 2 : 絞り	
2 3 : レンズ部	
2 4 : (位相回復法用) 照明状態調整部	
2 5 : 絞り	
2 6 : (第 2 の) 光源	30
2 7 : ミラー	
2 8 : 対物レンズ	
2 9 : ビームスプリッタ	
3 0 : センサー	
3 1 : リレー光学系	
3 2 : 切替絞り	
3 3 : 照明系リレー光学系	
3 4 : (第 2 の) 光源	
3 5 : 拡大光学系	
3 6 : 中間像面	40
A X : 投影レンズの光軸	
I L : 照明光束	

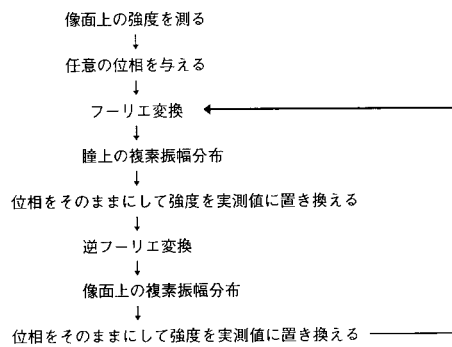
【図 1】



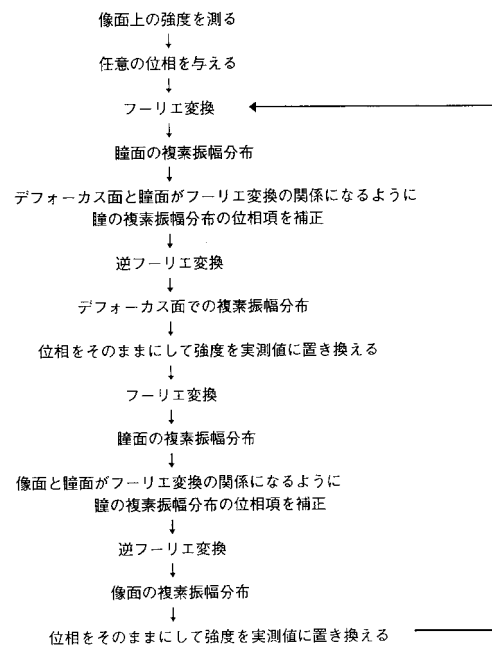
【図 2】



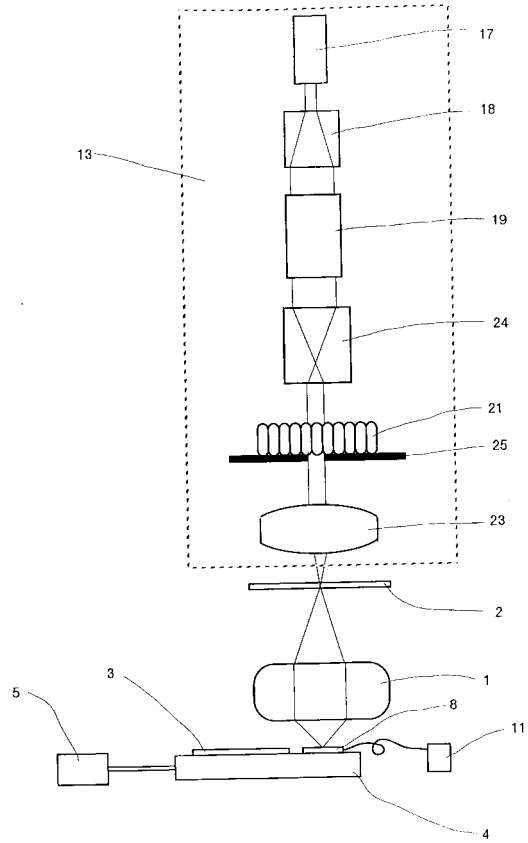
【図 3】



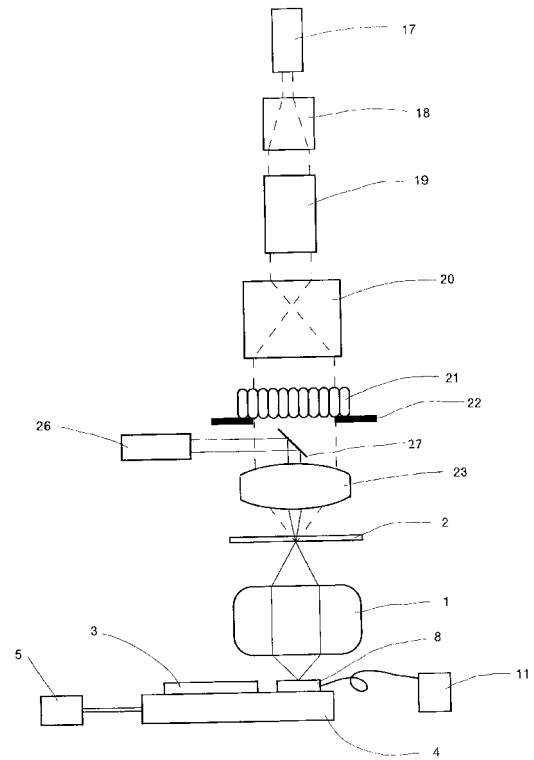
【図 4】



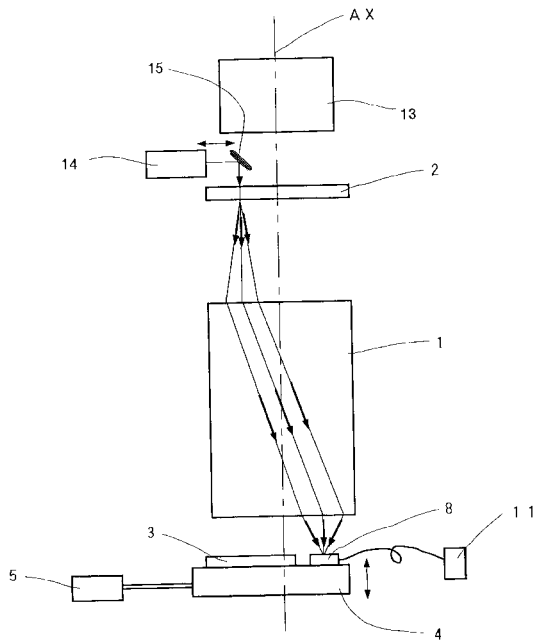
【図 5】



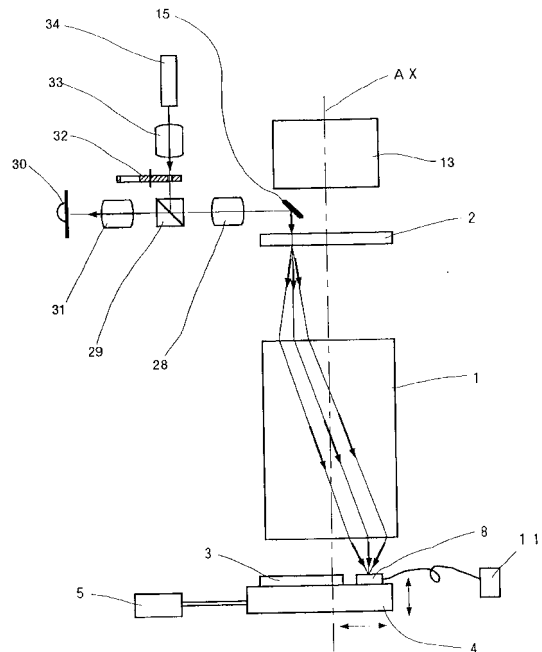
【図 6】



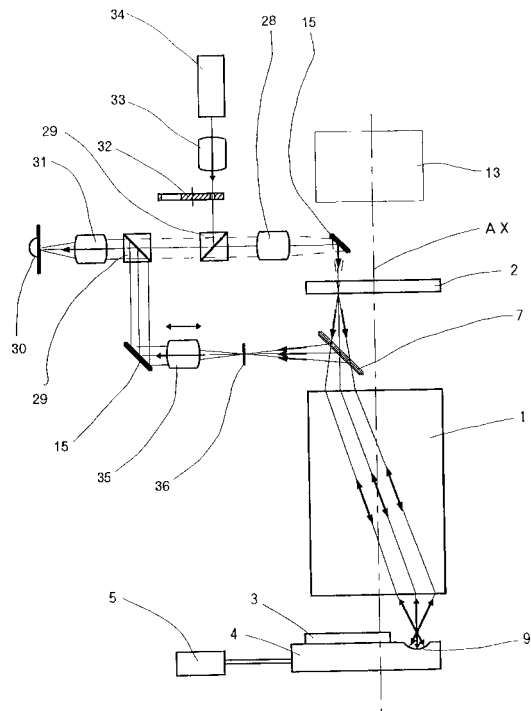
【図 7】



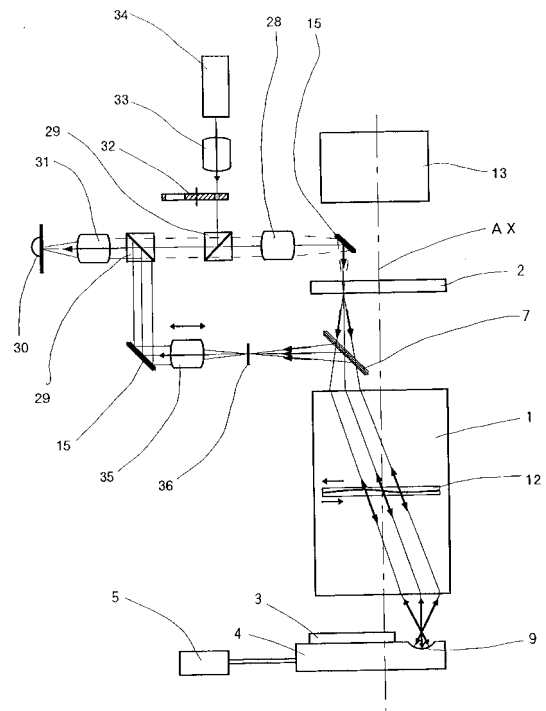
【図 8】



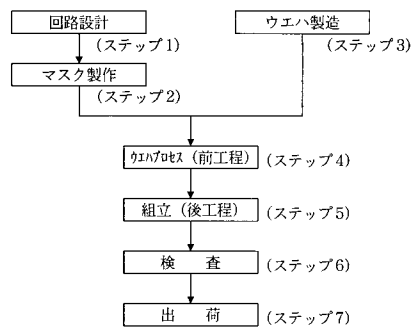
【図 9】



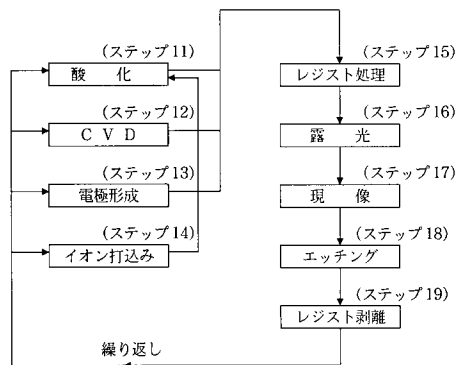
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2000-195782(JP,A)
特開平11-135421(JP,A)
特開平10-294269(JP,A)
特開平10-284368(JP,A)
特開平10-027743(JP,A)
特開平09-049781(JP,A)
特開平08-298238(JP,A)
特開平02-038939(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027
G02B 19/00
G03F 7/20