

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4683232号
(P4683232)

(45) 発行日 平成23年5月18日 (2011.5.18)

(24) 登録日 平成23年2月18日 (2011.2.18)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/027 (2006.01)
G O 3 F 7/20 (2006.01)
G O 3 F 1/08 (2006.01)
G O 1 B 11/24 (2006.01)

H O 1 L 21/30 5 1 6 A
H O 1 L 21/30 5 1 8
G O 3 F 7/20 5 2 1
G O 3 F 1/08 M
G O 1 B 11/24 Z

請求項の数 30 (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願2006-529261 (P2006-529261)
(86) (22) 出願日 平成17年7月21日 (2005.7.21)
(86) 国際出願番号 PCT/JP2005/013350
(87) 国際公開番号 W02006/009188
(87) 国際公開日 平成18年1月26日 (2006.1.26)
審査請求日 平成20年6月30日 (2008.6.30)
(31) 優先権主張番号 特願2004-215593 (P2004-215593)
(32) 優先日 平成16年7月23日 (2004.7.23)
(33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000004112
株式会社ニコン
東京都千代田区有楽町1丁目12番1号
(74) 代理人 100102901
弁理士 立石 篤司
(72) 発明者 萩原 恒幸
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
式会社ニコン内
審査官 岩本 勉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 像面計測方法、露光方法及びデバイス製造方法、並びに露光装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

所定の走査方向に移動可能なマスクステージに搭載されたマスクのパターンの像が投影光学系によって形成される走査像面を計測する像面計測方法であって、

少なくとも1つのマークを有するマーク領域が前記走査方向に沿って複数形成されたマスクを前記マスクステージに搭載し、前記マスクステージを前記走査方向に移動させる移動工程と；

前記マスクを照明する照明光に対して前記マスクが前記走査方向に移動した位置毎に、前記照明光で照明された前記マーク領域の少なくとも1つのマークの空間像を前記投影光学系を介して形成し、該空間像を空間像計測装置を用いて計測する、空間像計測工程と；

前記移動位置毎の前記マークの空間像の計測結果に基づいて、前記走査像面を算出する算出工程と；を含む像面計測方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の像面計測方法において、

前記空間像計測工程は、前記マークの前記空間像の前記投影光学系の光軸方向に関する位置情報を計測する工程と、前記マークの前記空間像の前記投影光学系の光軸に垂直な面内の方向に関する位置情報を計測する工程と、を含むことを特徴とする像面計測方法。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の像面計測方法において、

前記マスクには、前記マーク領域が、前記パターンが形成されたパターン領域を区画す

る矩形枠状の遮光帯の内部及び外部の少なくとも一方に、複数設けられていることを特徴とする像面計測方法。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の像面計測方法において、

前記マスクには、前記矩形枠状の遮光帯の前記走査方向に平行な一対の対向辺にそれぞれ沿って複数対の前記マーク領域が配置されていることを特徴とする像面計測方法。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の像面計測方法において、

前記マスクには、前記矩形枠状の遮光帯の残りの一対の対向辺のそれぞれの近傍に、前記マーク領域が少なくとも各 1 つ配置されていることを特徴とする像面計測方法。

10

【請求項 6】

マスクが載置されたマスクステージと物体とを同期して照明光に対して移動し、前記マスクに形成されたパターンを前記物体上に転写する露光方法であって、

請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の像面計測方法により、前記マスクに形成されたパターンの像が投影光学系によって形成される走査像面を計測する工程と；

前記パターンの転写時に、前記走査像面の計測結果に基づいて、前記走査像面と前記物体の表面とを近づけるように補正する工程と；を含む露光方法。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の露光方法において、

前記マスクには、前記マスク上の前記物体上に転写すべきパターン領域の周囲の前記パターン領域から所定距離以上離れた複数の位置に、前記マーク領域がそれぞれ設けられることを特徴とする露光方法。

20

【請求項 8】

請求項 7 に記載の露光方法において、

前記パターン領域は、前記走査方向にほぼ平行な一対の第 1 の対向辺により規定されると共に、前記マーク領域が、前記一対の第 1 の対向辺の近傍で、かつ前記パターン領域から所定距離以上離れた複数の位置に、それぞれ設けられることを特徴とする露光方法。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の露光方法において、

前記パターン領域は、さらに前記走査方向にほぼ直交する平行な一対の第 2 の対向辺により規定されると共に、前記マーク領域が、さらに前記第 2 の対向辺の近傍であって、前記パターン領域から所定距離以上離れた少なくとも 1 つの位置に、設けられることを特徴とする露光方法。

30

【請求項 10】

請求項 7 に記載の露光方法において、

前記マスク上の、前記パターン領域と前記マーク領域との間の少なくとも一部に、遮光帯が設けられていることを特徴とする露光方法。

【請求項 11】

請求項 6 に記載の露光方法において、

前記マーク領域は、前記パターン領域中の、前記走査方向に平行な、又は直交する所定の帯状領域上に形成されていることを特徴とする露光方法。

40

【請求項 12】

請求項 6 に記載の露光方法において、

前記パターンを転写する前記物体の前記表面の位置及び形状の少なくとも一方を、前記転写時に、又は前記転写に先立って計測する物体位置計測工程を、さらに含む露光方法。

【請求項 13】

請求項 6 に記載の露光方法において、

前記パターンの転写時に、前記走査像面の計測結果に基づいて、前記走査像面を既知の基準像面に近づけるように前記走査像面を補正する工程を、さらに含む露光方法。

【請求項 14】

50

請求項 13 に記載の露光方法において、
前記基準像面は、平面であることを特徴とする露光方法。

【請求項 15】

請求項 13 に記載の露光方法において、
前記基準像面は、前記マスクステージ上に存在する基準部材の基準面に形成された複数のマークの前記投影光学系による投影像の形成面であることを特徴とする露光方法。

【請求項 16】

請求項 15 に記載の露光方法において、
前記補正する工程に先立って、前記マスクステージ上の前記基準部材を照明光で照明して、前記基準部材上の複数のマークの空間像を前記投影光学系を介して形成し、該空間像を空間像計測装置を用いて計測し、該計測結果に基づいて前記基準像面を算出する工程を、更に含む露光方法。

10

【請求項 17】

請求項 13 ~ 16 のいずれか一項に記載の露光方法において、
前記走査像面の計測結果と前記基準像面とに基づいて、前記補正する工程の処理を行うか否かを判定する工程を更に含む露光方法。

【請求項 18】

請求項 6 ~ 16 のいずれか一項に記載の露光方法を用いて、物体上に前記パターンを転写するリソグラフィ工程を、含むデバイス製造方法。

【請求項 19】

請求項 17 に記載の露光方法を用いて、物体上に前記パターンを転写するリソグラフィ工程を、含むデバイス製造方法。

20

【請求項 20】

マスクと物体とを所定の走査方向に同期移動し、前記マスクに形成されたパターンを前記物体上に転写する露光装置であって、

少なくとも 1 つのマークを有するマーク領域が前記走査方向に沿って複数形成されたマスクを保持して少なくとも前記走査方向に移動可能なマスクステージと；

前記マスクステージを照明光で照明する照明系と；

前記マスクに形成されたパターンを投影する投影光学系と；

前記投影光学系により形成される投影像を計測する空間像計測装置と；

30

前記物体を保持して移動する物体ステージと；

前記照明系からの照明光に対して前記マスクが前記走査方向に移動した位置毎に、前記照明光で照明された前記マーク領域の少なくとも 1 つのマークの空間像を前記投影光学系を介して形成し、該空間像を前記空間像計測装置を用いて計測する、計測制御装置と；

前記移動位置毎の前記マークの空間像の計測結果に基づいて、前記マスクに形成されたパターンの像が前記投影光学系によって形成される走査像面を算出する算出装置と；を備える露光装置。

【請求項 21】

請求項 20 に記載の露光装置において、

前記走査像面の算出は、前記マスクに形成された前記パターンの内部あるいは外部の少なくとも一方に設けられた複数かつ離散的なマークの空間像の前記計測制御装置による計測結果を、統計処理することにより行うことを特徴とする露光装置。

40

【請求項 22】

請求項 20 に記載の露光装置において、

前記走査像面の前記算出結果に基づいて、前記走査像面と前記物体の表面とを近づけるように設定する物体位置設定機構を更に備える露光装置。

【請求項 23】

請求項 20 に記載の露光装置において、

前記物体の表面の位置情報又は形状情報を計測する物体位置計測機構を更に備える露光装置。

50

【請求項 2 4】

請求項 2 0 に記載の露光装置において、

前記計測制御装置は、前記マークの投影像の前記投影光学系の光軸方向に関する位置情報を計測する機構と、前記マークの投影像の前記光軸に垂直な面内方向に関する位置情報を計測する機構とを有すると共に、

前記算出装置は、前記移動位置毎の前記マークの投影像の前記光軸方向に関する位置情報に基づいて像面を算出する機能と、前記移動位置毎の前記マークの投影像の前記光軸に垂直な面内方向に関する位置情報に基づいてディストーション分布を算出する機能と、を有することを特徴とする露光装置。

【請求項 2 5】

請求項 2 0 に記載の露光装置において、

前記パターンの転写の際に、前記算出装置による前記走査像面の算出結果に基づいて、前記走査像面を既知の基準像面に近づけるように前記走査像面を補正する補正装置を更に備える露光装置。

【請求項 2 6】

請求項 2 5 に記載の露光装置において、

前記基準像面は、平面であることを特徴とする露光装置。

【請求項 2 7】

請求項 2 5 に記載の露光装置において、

前記基準像面は、前記マスクステージ上に存在する基準部材の基準面に形成された複数のマークの前記投影光学系による投影像の形成面であることを特徴とする露光装置。

【請求項 2 8】

請求項 2 5 ～ 2 7 のいずれか一項に記載の露光装置において、

前記計測制御装置は、前記補正装置による補正に先立って、前記マスクステージ上の前記基準部材を前記照明系からの前記照明光で照明して、前記複数のマークの空間像を前記投影光学系を介して形成し、該空間像を前記空間像計測装置を用いて計測し、

前記算出装置は、前記計測結果に基づいて前記基準像面を算出することを特徴とする露光装置。

【請求項 2 9】

請求項 2 5 ～ 2 7 のいずれか一項に記載の露光装置において、

前記算出装置による前記走査像面の算出結果と前記基準像面とに基づいて、エラー状態が発生したか否かを判定し、エラー状態が発生していた場合、そのエラー状態の発生を外部に通知するとともに、装置の運転を停止する非常時警報装置を更に備える露光装置。

【請求項 3 0】

請求項 2 0 ～ 2 7 のいずれか一項に記載の露光装置において、

前記空間像計測装置の少なくとも一部が設けられるとともに、前記物体ステージとは異なる、移動可能なステージを更に備える露光装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0 0 0 1】**

本発明は、像面計測方法、露光方法及びデバイス製造方法、並びに露光装置に係り、更に詳しくは、所定の走査方向に移動可能なマスクステージ上に搭載されたマスクに形成されたパターンの像が投影光学系によって形成される走査像面を計測する像面計測方法、該像面計測方法を含む露光方法及び該露光方法を用いるデバイス製造方法、並びに前記露光方法の実施に好適な露光装置に関する。

【背景技術】**【0 0 0 2】**

半導体素子（集積回路）、液晶表示素子、又は薄膜磁気ヘッド等を製造するリソグラフィ工程では、従来、ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（いわゆるステッパ）などの一括露光型の投影露光装置が主として用いられていたが、半導体素子の高集

10

20

30

40

50

積化に伴い、近年では、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置（いわゆるスキヤニング・ステッパ（スキヤナとも呼ばれる））などの、走査型露光装置が、比較的によく用いられるようになってきた。

【 0 0 0 3 】

これまでのステッパやスキヤナでは、レチクルホルダ（プラテン）に吸着された際の回路パターンが形成されたマスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）の変形はレチクルによらず同様であるという前提で、装置の設計が行われていた。

【 0 0 0 4 】

しかるに、この種の投影露光装置の投影光学系においては、限界に近い解像力が求められているため、その解像力を高めるべく投影光学系の開口数（ NA ）が大きく設定され、その結果として焦点深度（ DOF ）がかなり浅くなっている。すなわち、近年の投影光学系の高 NA 化に伴う狭 DOF 化により、レチクルの変形による結像誤差も次第に無視できなくなってきた。

【 0 0 0 5 】

すなわち、仮にレチクルのパターン面がほぼ一様に投影光学系側に撓むと、像面の平均的な位置も低下するため、投影光学系の光軸方向に関するウエハの目標位置がレチクルのパターン面が撓まないときと同じではデフォーカスが発生する。また、レチクルのパターン面が変形すると、そのパターン面上のパターンの投影光学系の光軸に垂直な方向の位置も変化することがあり、このようなパターンの横ずれはディストーション誤差の要因にもなる。このため、レチクル平坦度のより精密な管理が求められるようになってきている。

【 0 0 0 6 】

レチクルの変形としては、（ a ）自重による撓み、（ b ）レチクルのガラス基板自体の研磨時の変形、（ c ）レチクルをレチクルホルダ（プラテン）に強引に吸着保持する際に両者の接触面の平面度の相違により発生する変形等が考えられる。このようなレチクルの変形の状態は、レチクル毎に、更には露光装置のレチクルホルダ毎に異なってくるため、レチクルの変形量を正確に測定するには、レチクルを実際に露光装置のレチクルホルダに吸着保持した状態で測定する必要がある。

【 0 0 0 7 】

そこで、迅速にレチクルの面形状を計測するために、投影光学系の光軸方向に関するウエハの位置を検出するための斜入射方式の焦点位置検出系（ AF センサ）と同様の位置センサをレチクルステージ側にも配置することが考えられる。

【 0 0 0 8 】

この場合、レチクルのパターン面は下面、すなわち投影光学系側の面であることから、その斜入射方式の位置センサは、レチクルステージと投影光学系との間の空間、又はその近傍に配置することとなるが、特に走査型露光装置では、レチクルステージは同期走査のための加減速時に応力を受けても変形しないように、十分な剛性を保つ必要がある。このため、レチクルステージは例えば投影光学系に殆ど接触する限界まで十分な厚さを備えた構成を取る場合が多い。更に、レチクルと投影光学系との間の空間が狭い方が投影光学系の設計は容易であるため、投影光学系が高精度化するにつれて、ますます投影光学系とレチクルとの間の空間は少なくなる傾向にある。従って、レチクル用の位置センサを投影光学系とレチクルとの間に配置するのは困難になっていた。

【 0 0 0 9 】

かかる点に鑑み、レチクル側のステージと投影光学系との間の空間が狭く、その空間にレチクルのパターン面の形状を計測するためのセンサを設置することが困難な場合でも、そのパターン面の形状を計測でき、ひいては良好な結像特性が得られる走査型露光方法及び走査型露光装置が、提案されている（特許文献 1、2、3 等参照）。

【 0 0 1 0 】

しかるに、特許文献 1 ないし 3 に記載の走査型露光方法及び走査型露光装置では、レチクル側の位置センサ（レチクル AF センサ）が必須であり、投影光学系の真上ではないとは言え、投影光学系の近傍に、その AF センサを配置するための空間が必要であり、これ

10

20

30

40

50

により投影光学系やレチクルステージの設計自由度が必ずしも十分ではないものとなっている。

【0011】

【特許文献1】特開平11-45846号公報

【特許文献2】特開平11-26345号公報

【特許文献3】米国特許第6,549,271号明細書

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明は、上述した事情の下でなされたもので、第1の観点からすると、所定の走査方向に移動可能なマスクステージに搭載されたマスクのパターンの像が投影光学系によって形成される走査像面を計測する像面計測方法であって、少なくとも1つのマークを有するマーク領域が前記走査方向に沿って複数形成されたマスクを前記マスクステージに搭載し、前記マスクステージを前記走査方向に移動させる移動工程と；前記マスクを照明する照明光に対して前記マスクが前記走査方向に移動した位置毎に、前記照明光で照明された前記マーク領域の少なくとも1つのマークの空間像を前記投影光学系を介して形成し、該空間像を空間像計測装置を用いて計測する、空間像計測工程と；前記移動位置毎の前記マークの空間像の計測結果に基づいて、前記走査像面を算出する算出工程と；を含む像面計測方法である。

【0013】

ここで、「走査像面」は、所定の走査方向に移動可能なマスクステージ上に搭載されたマスクに形成されたパターンの像が投影光学系によって形成される像面を意味する。従って、投影光学系自体の設計残差及び製造誤差による像面湾曲のみでなく、マスクの平坦度誤差（変形による凹凸誤差を含む）や、マスクステージの走査方向位置変化に伴うマスク上下動、並びにピッチング及びローリングにより生じる像面位置の変動をも含む。

【0014】

これによれば、マスクステージを走査方向に関して移動し、マスク上の、所定のマークが形成されたマーク領域を含む領域を照明光で照明して、前記マーク領域の少なくとも1つのマークの空間像を投影光学系を介して形成し、該空間像を空間像計測装置を用いて計測する。このような空間像の計測を、マスクステージを走査方向に移動して繰り返し行う。そして、移動位置毎の各マークの空間像の計測結果に基づいて、走査像面を算出する。すなわち、マスクのパターン面ではなく、それが投影された走査像面を計測するので、マスク位置計測用のセンサが不要であると共に、マスクと投影光学系との間に、マスク位置計測用のセンサを設置するスペースを確保する必要もない。従って、投影光学系の設計自由度が増大し、高性能な投影光学系が実現可能となる。

【0015】

この場合において、前記空間像計測工程は、前記マークの前記空間像の前記投影光学系の光軸方向に関する位置情報を計測する工程と、前記マークの前記空間像の前記投影光学系の光軸に垂直な面内の方向に関する位置情報を計測する工程と、を含むこととすることができる。

【0016】

本発明は、第2の観点からすると、マスクが載置されたマスクステージと物体とを同期して照明光に対して移動し、前記マスクに形成されたパターンを前記物体上に転写する露光方法であって、本発明の像面計測方法により、前記マスクに形成されたパターンの像が投影光学系によって形成される走査像面を計測する工程と；前記パターンの転写時に、前記走査像面の計測結果に基づいて、前記走査像面と前記物体の表面とを近づけるように補正する工程と；を含む露光方法である。

【0017】

これによれば、本発明の像面計測方法により、マスクに形成されたパターンの像が投影光学系によって形成される走査像面が計測され、マスクに形成されたパターンの転写時に

10

20

30

40

50

、前記走査像面の計測結果に基づいて、走査像面と物体の表面とを近づけるように補正がなされる。従って、デフォーカスのない状態で前記パターンが投影光学系を介して物体上に転写される。従って、微細なパターンを物体上に精度良く転写することが可能となる。

【0018】

本発明は、第3の観点からすると、マスクと物体とを所定の走査方向に同期移動し、前記マスクに形成されたパターンを前記物体上に転写する露光装置であって、少なくとも1つのマークを有するマーク領域が前記走査方向に沿って複数形成されたマスクを保持して少なくとも前記走査方向に移動可能なマスクステージと；前記マスクステージを照明光で照明する照明系と；前記マスクに形成されたパターンを投影する投影光学系と；前記投影光学系により形成される投影像を計測する空間像計測装置と；前記物体を保持して移動する物体ステージと；前記照明系からの照明光に対して前記マスクが前記走査方向に移動した位置毎に、前記照明光で照明された前記マーク領域の少なくとも1つのマークの空間像を前記投影光学系を介して形成し、該空間像を前記空間像計測装置を用いて計測する、計測制御装置と；前記移動位置毎の前記マークの空間像の計測結果に基づいて、前記マスクに形成されたパターンの像が前記投影光学系によって形成される走査像面を算出する算出装置と；を備える露光装置である。

【0019】

これによれば、計測制御装置は、マスクステージを走査方向に移動し、マスク上の、所定のマークが形成されたマーク領域を含む領域を照明系からの照明光で照明して、前記マーク領域内の少なくとも1つのマークの空間像を投影光学系を介して形成し、該空間像を空間像計測装置を用いて計測する。このような空間像の計測が、計測制御装置により、マスクステージを走査方向に関して移動しながら繰り返し行われる。そして、算出装置により、移動位置毎の各マークの空間像の計測結果に基づいて、マスクに形成されたパターンの像が投影光学系によって形成される走査像面が算出される。すなわち、マスクのパターン面ではなく走査像面を計測するので、マスク位置計測用のセンサなどが不要になるとともに、マスクと投影光学系との間、及びマスクステージの近傍に、マスク位置計測用のセンサの設置スペースを確保する必要がなくなる。従って、投影光学系の設計自由度が増大し、高性能な投影光学系が実現可能となり、結果的に、高性能な投影光学系により、高精度なパターンの転写を実現することが可能となる。

【0020】

また、リソグラフィ工程において、本発明の露光方法を用いて、物体上にパターンを転写することにより、より高集積度のマイクロデバイスを歩留まり良く製造することができ。従って、本発明は、更に別の観点からすると、本発明の露光方法を用いるデバイス製造方法であるとも言える。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】本発明の一実施形態に係る露光装置10の概略的な構成を示す図である。

【図2】図1のレチクルマーク板を示す平面図である。

【図3】図1のウエハステージ近傍を拡大し、Zチルトステージの駆動装置とともに示す図である。

【図4】図1の空間像計測装置の内部構成を示す図である。

【図5(A)】空間像の計測に際してスリット板上に空間像 PM_y' が形成された状態を示す図である。

【図5(B)】上記の空間像計測の際に得られる光電変換信号(光強度信号)の一例を示す線図である。

【図6】一実施形態の露光装置でレチクルRのパターン面の走査像面の計測動作を含む、露光動作に関する主制御装置50内部のCPUの処理アルゴリズムを示すフローチャートである。

【図7】図6のサブルーチン210の具体例を示すフローチャートである。

【図8】図6のサブルーチン212の具体例を示すフローチャートである。

【図 9】レチクル R を示す平面図である。

【図 10】図 9 のレチクル上のマーク領域を拡大して示す図である。

【図 11】一実施形態に係る走査像面の算出方法を説明するための図である。

【図 12】走査像面の別の算出方法を説明するための図である。

【図 13】本発明に係るデバイス製造方法の実施形態を説明するためのフローチャートである。

【図 14】図 13 のステップ 504 の詳細を示すフローチャートである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

以下、本発明の一実施形態を図 1 ～ 図 11 に基づいて説明する。図 1 には、一実施形態に係る露光装置 10 の概略的な構成が示されている。この露光装置 10 は、ステップ・アンド・スキャン方式の走査型投影露光装置、すなわちいわゆるスキャニング・ステッパ（スキャナとも呼ばれる。）である。

【0023】

この露光装置 10 は、光源 14 及び照明光学系 12 を含む照明系、マスクとしてのレチクル R を保持するマスクステージとしてのレチクルステージ RST、投影光学系 PL、物体としてのウエハ W を保持して XY 平面内を自在に移動可能な物体ステージとしてのウエハステージ WST、及びこれらを制御する制御系等を備えている。また、図示は省略されているが、上記各構成部分のうち、光源及び制御系以外の部分は、実際には、内部の温度、圧力等の環境条件が高精度に維持された不図示の環境制御チャンバ（エンバイロンメンタル・チャンバ）内に収容されている。

【0024】

前記光源 14 としては、ここでは、一例として、KrF エキシマレーザ光（波長 248 nm）又は ArF エキシマレーザ光（波長 193 nm）などのレーザ光をパルス発光するエキシマレーザ光源が用いられているものとする。この光源 14 は、実際には、上記環境制御チャンバが設置されるクリーンルームとは別のクリーン度の低いサービスルーム等に設置され、不図示の送光光学系を介して環境制御チャンバ内部の照明光学系 12 に接続されている。光源 14 は、ワークステーション（又はマイクロコンピュータ）から成る主制御装置 50 によってそのレーザ発光のオンオフや、中心波長、スペクトル半値幅、繰り返し周波数などが制御される。

【0025】

前記照明光学系 12 は、ビーム整形光学系 18、オプティカルインテグレータとしてのフライアイレンズ 22、照明系開口絞り板 24、リレー光学系 28A、28B、固定レチクルブラインド 30A、可動レチクルブラインド 30B、ミラー M 及びコンデンサレンズ 32 等を備えている。なお、オプティカルインテグレータとしては、ロッド型（内面反射型）インテグレータや、回折光学素子などを用いることもできる。

【0026】

前記ビーム整形光学系 18 内には、光源 14 でパルス発光されたレーザビーム LB の断面形状を、該レーザビーム LB の光路後方に設けられたフライアイレンズ 22 に効率良く入射するように整形するための、例えばシリンダレンズやビームエキスパンダ（いずれも図示省略）等が含まれている。

【0027】

前記フライアイレンズ 22 は、ビーム整形光学系 18 から出たレーザビーム LB の光路上に配置され、レチクル R を均一な照度分布で照明するために多数の点光源（光源像）からなる面光源、即ち 2 次光源を形成する。この 2 次光源から射出されるレーザビーム LB を本明細書においては、「照明光 IL」とも呼ぶものとする。

【0028】

フライアイレンズ 22 の射出側焦点面の近傍には、円板状部材から成る照明系開口絞り板 24 が配置されている。この照明系開口絞り板 24 には、ほぼ等角度間隔で、例えば通常の円形開口より成る開口絞り、輪帯照明用の開口絞り及び変形光源法用の開口絞り等が

10

20

30

40

50

配置されている。この照明系開口絞り板 24 は、主制御装置 50 により制御されるモータ等の駆動装置 40 により回転されるようになっており、これによりいずれかの開口絞りが照明光 I L の光路上に選択的に設定される。このようにして、本実施形態では、輪帯照明、変形照明等、各種照明条件を実現できる。

【0029】

照明系開口絞り板 24 から出た照明光 I L の光路上に、反射率が小さく透過率の大きなビームスプリッタ 26 が配置され、更にこの後方の光路上に、レチクルブラインド 30 A, 30 B を介在させてリレー光学系 (28 A, 28 B) が配置されている。

【0030】

固定レチクルブラインド 30 A は、レチクル R のパターン面に対する共役面又はその近傍に配置され、レチクル R 上で X 軸方向 (図 1 における紙面直交方向) に細長く伸びるスリット状の照明領域 I A R (図 1 参照) を規定する矩形開口が形成されている。また、この固定レチクルブラインド 30 A の近傍に走査露光時の走査方向 (ここでは図 1 における紙面内左右方向である Y 軸方向とする) 及び非走査方向 (X 軸方向) にそれぞれ対応する方向の位置及び幅が可変な開口部を有する可動レチクルブラインド 30 B が配置されている。この可動レチクルブラインド 30 B は、例えば一対の L 字型ブレードを有し、この一対の L 字型ブレードによって前記開口が形成される。走査露光の開始時及び終了時にその可動レチクルブラインド 30 B を介して照明領域 I A R を更に制限することによって、不要な部分の露光が防止されるようになっている。また、本実施形態では、可動レチクルブラインド 30 B は、後述する空間像計測の際の照明領域の設定にも用いられる。

【0031】

一方、照明光学系 12 内のビームスプリッタ 26 で反射された照明光 I L の光路上には、集光レンズ 44、及び遠紫外域で感度が良く、かつ光源 14 のパルス発光を検出するために高い応答周波数を有する P I N 型フォトダイオード等の受光素子から成るインテグレートセンサ 46 が配置されている。

【0032】

このようにして構成された照明系の作用を簡単に説明すると、光源 14 からパルス発光されたレーザビーム L B は、ビーム整形光学系 18 に入射し、ここで後方のフライアイレンズ 22 に効率よく入射するようにその断面形状が整形された後、フライアイレンズ 22 に入射する。これにより、フライアイレンズ 22 の射出側焦点面 (本実施形態では、照明光学系 12 の瞳面にほぼ一致) に 2 次光源が形成される。この 2 次光源から射出された照明光 I L は、照明系開口絞り板 24 上のいずれかの開口絞りを通過した後、透過率が大きく反射率が小さなビームスプリッタ 26 に至る。このビームスプリッタ 26 を透過した照明光 I L は、第 1 リレーレンズ 28 A を経て固定レチクルブラインド 30 A の矩形の開口部及び可動レチクルブラインド 30 B の開口を通過した後、第 2 リレーレンズ 28 B を通過してミラー M によって光路が垂直下方に折り曲げられた後、コンデンサレンズ 32 を経て、レチクルステージ R S T 上に保持されたレチクル R 上における、前述のスリット状の照明領域 I A R を均一な照度分布で照明する。

【0033】

一方、ビームスプリッタ 26 で反射された照明光 I L は、集光レンズ 44 を介してインテグレートセンサ 46 で受光され、インテグレートセンサ 46 の光電変換信号が、不図示のホールド回路、例えばピークホールド回路及び A / D 変換器を有する信号処理装置 80 を介して主制御装置 50 に供給される。

【0034】

前記レチクルステージ R S T 上には、不図示のプラテン部が設けられ、該プラテン部にレチクル R が、例えば真空吸着 (又は静電吸着) により固定されている。レチクルステージ R S T は、ここでは、リニアモータ等を含むレチクルステージ駆動系 56 R により、投影光学系 P L の光軸 A X に垂直な X Y 平面内で 2 次元的に (X 軸方向及びこれに直交する Y 軸方向及び X Y 平面に直交する Z 軸回りの回転方向 (z 方向) に) 微少駆動可能であるとともに、レチクルベース R B S 上を Y 軸方向に指定された走査速度で駆動可能となっ

10

20

30

40

50

ている。なお、レチクルRのプラテン部への固定に際しては、レチクルステージRSTの走査に際し加わる加速度によるレチクルRの位置ずれを防止するために、レチクルRをレチクルステージRSTに押し付ける機械的なクランプ機構を併用することも可能である。

【0035】

レチクルステージRSTのレチクルRの+Y側には、下面（以下、「基準面」と呼ぶ）の平面度の良好なガラス基板よりなる基準部材としてのレチクルフィデューシャルマーク板（以下、「レチクルマーク板」と略述する）RFMがX軸方向に延設されている。このレチクルマーク板RFMは、レチクルRと同材質のガラス素材、例えば合成石英やホタル石、フッ化リチウムその他のフッ化物結晶などから成り、レチクルステージRSTに固定されている。レチクルマーク板RFMの基準面は、設計上でレチクルRのパターン面と同じ高さに設定され、かつ前述のスリット状の照明領域IARとほぼ同一の大きさであり、その基準面には投影光学系PLのディストーション、像面湾曲等の結像特性を計測するための結像特性評価マーク（以下、単に「評価マーク」と記述する。）が形成されている。

【0036】

図2は、レチクルマーク板RFMを示す平面図であり、この図2において、レチクルマーク板RFMの基準面（下面、図2における紙面奥側の面）には例えばX軸方向に所定間隔で2列の評価マーク $FRM_{1,1}, \dots, FRM_{1,5}, FRM_{2,1}, \dots, FRM_{2,5}$ が形成されている。これらの評価マーク $FRM_{1,1}, \dots, FRM_{1,5}, FRM_{2,1}, \dots, FRM_{2,5}$ のそれぞれとしては、ここでは十字マークが用いられているが、これに限らず、例えば配列方向が直交する2つのライン・アンド・スペースパターンにより形成されていても良い。また、配列についても、基準面の全体にほぼ均等に分布していれば良い。

【0037】

本実施形態では、レチクルマーク板RFMを使用することによって、実露光用のレチクルRをテストレチクルに変えることなく効率的に投影光学系PLの結像特性が評価できるように構成されている。本実施形態では、更にそのレチクルマーク板RFMの基準面の投影光学系PLによる投影像面を後述のレチクルRのパターン面の走査像面の基準として使用する。

【0038】

図1に戻り、レチクルステージRSTには、レチクルR及びレチクルマーク板RFMの下方に、照明光ILの通路となる開口がそれぞれ形成されている。また、レチクルベースRBSの投影光学系PLのほぼ真上の部分には、照明光ILの通路となる、照明領域IARより大きな長方形の開口が形成されている。

【0039】

レチクルステージRST上には、レチクルレーザ干渉計（以下、「レチクル干渉計」という）54Rからのレーザビームを反射する移動鏡52Rが固定されており、レチクルステージRSTのXY面内の位置はレチクル干渉計54Rによって、例えば0.5~1nm程度の分解能で常時検出される。ここで、実際には、レチクルステージRST上には走査露光時の走査方向（Y軸方向）に直交する反射面を有する移動鏡と非走査方向（X軸方向）に直交する反射面を有する移動鏡とが設けられ、これらの移動鏡に対応してレチクルY干渉計とレチクルX干渉計とが設けられているが、図1ではこれらが代表的に移動鏡52R、レチクル干渉計54Rとして示されている。なお、例えば、レチクルステージRSTの端面を鏡面加工して反射面（移動鏡52Rの反射面に相当）を形成しても良い。また、レチクルステージRSTの走査方向（本実施形態ではY軸方向）の位置検出に用いられるX軸方向に伸びた反射面の代わりに、少なくとも1つのコーナーキューブ型ミラー（例えばレトリフレクタなど）を用いても良い。ここで、レチクルX干渉計とレチクルY干渉計の一方、例えばレチクルY干渉計は、測長軸を2軸有する2軸干渉計であり、このレチクルY干渉計の計測値に基づきレチクルステージRSTのY位置に加え、Z軸回りの回転（ α 回転）も計測できるようになっている。

【0040】

レチクル干渉計54RからのレチクルステージRSTの位置情報は、ステージ制御装置

70及びこれを介して主制御装置50に送られるようになっている。ステージ制御装置70は、主制御装置50の指示に応じてレチクルステージ駆動系56Rを介してレチクルステージRSTの移動を制御する。

【0041】

前記投影光学系PLは、レチクルステージRSTの図1における下方に配置され、その光軸AXの方向がZ軸方向とされ、ここでは両側テレセントリックな縮小系であり、光軸AX方向に沿って所定間隔で配置された複数枚のレンズエレメントを含む屈折光学系が使用されている。この投影光学系PLの投影倍率は、例えば1/4、1/5等となっている。このため、照明光学系12からの照明光ILによってレチクルR上のスリット状照明領域IARが照明されると、このレチクルRを通過した照明光ILにより、投影光学系PLを介してそのスリット状照明領域IAR内のレチクルRの回路パターンの縮小像（部分縮小像）が表面にレジスト（感光剤）が塗布されたウエハW上の前記照明領域IARと共役な露光領域IAに形成される。

10

【0042】

投影光学系PLの複数のレンズエレメントのうち、その一部の複数枚のレンズエレメント（以下、「可動レンズ」と呼ぶ。）は、不図示の駆動素子（例えばピエゾ素子など）によって光軸AX方向及びXY面に対する傾斜方向に微小駆動可能に構成されている。各駆動素子の駆動電圧（駆動素子の駆動量）が主制御装置50からの指令に応じて結像特性補正コントローラ78により制御され、これによって、投影光学系PLの結像特性、例えば、像面湾曲、ディストーション、倍率、球面収差、非点収差及びコマ収差などが補正されるようになっている。

20

【0043】

前記ウエハステージWSTは、XYステージ42と、該XYステージ42上に搭載されたZチルトステージ38とを含んで構成されている。

【0044】

前記XYステージ42は、ウエハベース16の上面の上方に不図示のエアベアリングによって例えば数 μ m程度のクリアランスを介して浮上支持され、ウエハステージ駆動系56Wを構成する不図示のリニアモータ等によって走査方向であるY軸方向及びこれに直交するX軸方向に2次元駆動可能に構成されている。このXYステージ42上にZチルトステージ38が搭載され、該Zチルトステージ38上にウエハホルダ25が載置されている。このウエハホルダ25によって、ウエハWが真空吸着（又は静電吸着）などによって保持されている。

30

【0045】

Zチルトステージ38は、図3に示されように、3つのZ位置駆動系27（但し、紙面奥側のZ位置駆動系27は不図示）によってXYステージ42上に3点で支持されている。各Z位置駆動系27は、Zチルトステージ38下面のそれぞれの支持点を投影光学系PLの光軸方向（Z軸方向）に独立して駆動する3つのアクチュエータ（例えばボイスコイルモータなど）21と、Zチルトステージ38のZ位置駆動系27による各支持点のアクチュエータ21によるZ軸方向の駆動量（基準位置からの変位）を検出するエンコーダ23とを含んで構成されている。ここで各エンコーダ23としては、例えば光学式又は静電容量式等のリニアエンコーダが使用されている。本実施形態では、上記3つのZ位置駆動系27をそれぞれ構成する3つのアクチュエータ21によってZチルトステージ38を、光軸AX方向（Z軸方向）及び光軸に直交する面（XY面）に対する傾斜方向、すなわちX軸回りの回転方向であるx方向、Y軸回りの回転方向であるy方向に駆動する駆動装置が構成されている。また、各エンコーダ23で計測されるZチルトステージ38のそれぞれのZ位置駆動系27による各支持点のZ軸方向の駆動量（基準点からの変位量）は、ステージ制御装置70及びこれを介して主制御装置50に供給され、主制御装置50では、Zチルトステージ38のZ軸方向の位置及びレベリング量（x回転量、y回転量）を算出するようになっている。なお、図1では、XYステージ42を駆動するリニアモータ等、及び3つのZ位置駆動系27を含めてウエハステージ駆動系56Wとして示され

40

50

ている。

【 0 0 4 6 】

前記 Z チルトステージ 3 8 上には、ウエハレーザ干渉計（以下、「ウエハ干渉計」という）5 4 W からのレーザビームを反射する移動鏡 5 2 W が固定され、外部に配置されたウエハ干渉計 5 4 W により、Z チルトステージ 3 8（ウエハステージ W S T）の X Y 面内の位置が例えば 0 . 5 ~ 1 n m 程度の分解能で常時検出されている。

【 0 0 4 7 】

ここで、実際には、Z チルトステージ 3 8 上には、走査露光時の走査方向である Y 軸方向に直交する反射面を有する移動鏡と非走査方向である X 軸方向に直交する反射面を有する移動鏡とが設けられ、これに対応してウエハ干渉計も X レーザ干渉計と Y レーザ干渉計とが設けられているが、図 1 ではこれらが代表的に移動鏡 5 2 W、ウエハ干渉計 5 4 W として示されている。なお、例えば、Z チルトステージ 3 8 の端面を鏡面加工して反射面（移動鏡 5 2 W の反射面に相当）を形成しても良い。また、X レーザ干渉計及び Y レーザ干渉計は測長軸を複数有する多軸干渉計であり、Z チルトステージ 3 8 の X、Y 位置の他、回転（ヨーイング（Z 軸回りの回転である z 回転）、ピッチング（X 軸回りの回転である x 回転）、ローリング（Y 軸回りの回転である y 回転））も計測可能となっている。従って、以下の説明ではウエハ干渉計 5 4 W によって、Z チルトステージ 3 8 の X、Y、z、y、x の 5 自由度方向の位置が計測されるものとする。また、多軸干渉計は 4 5 ° 傾いて Z チルトステージ 3 8 に設置される反射面を介して、投影光学系 P L が載置される架台（不図示）に設置される反射面にレーザビームを照射し、投影光学系 P L の光軸方向（Z 軸方向）に関する相対位置情報を検出するようにしても良い。

【 0 0 4 8 】

Z チルトステージ 3 8（ウエハステージ W S T）の位置情報（又は速度情報）は、ステージ制御装置 7 0、及びこれを介して主制御装置 5 0 に供給されるようになっている。ステージ制御装置 7 0 は、主制御装置 5 0 の指示に応じてウエハステージ駆動系 5 6 W を介して Z チルトステージ 3 8（ウエハステージ W S T）の X Y 面内の位置を制御する。

【 0 0 4 9 】

また、Z チルトステージ 3 8 の内部には、投影光学系 P L の光学特性の計測に用いられる空間像計測装置 5 9（図 1 参照）の一部を構成する光学系の一部が配置されている。この空間像計測装置 5 9 は、図 4 に示されるように、Z チルトステージ 3 8 に設けられたステージ内構成部分、すなわちスリット板 9 0、レンズ 8 4、8 6 から成るリレー光学系、光路折り曲げ用のミラー 8 8 及び送光レンズ 8 7 と、ウエハステージ W S T 外部に設けられたステージ外構成部分、すなわちミラー 9 6、受光レンズ 8 9 及び光センサ 1 2 4 等とを備えている。

【 0 0 5 0 】

これを更に詳述すると、スリット板 9 0 は、図 4 に示されるように、ウエハステージ W S T の一端部上面に設けられた上部が開口した突設部 5 8 に対し、その開口を塞ぐ状態で上方から嵌め込まれている。このスリット板 9 0 は、平面視（上方から見て）長方形の受光ガラス 8 2 の上面に遮光膜を兼ねる反射膜 8 3 が形成され、その反射膜 8 3 の一部にスリット状の開口パターン（以下、「スリット」と呼ぶ）1 2 2 がパターンニングにより形成されている。なお、実際には、スリット板 9 0 には、図 5（A）に示されるように、Y 軸方向に伸びる所定幅 2 D（2 D は例えば 0 . 1 5 μ m（1 5 0 n m））のスリット 1 2 2 y と、X 軸方向に伸びる所定幅 2 D のスリット 1 2 2 x とが、その図 4（A）に示されるような位置関係で形成されているが、図 3 ではこれらのスリット 1 2 2 x、1 2 2 y が代表的にスリット 1 2 2 として示されている。スリット 1 2 2 x、1 2 2 y の長さは、ともに、例えば 1 6 μ m ~ 2 5 μ m 程度である。以下では、スリット 1 2 2 x、1 2 2 y を適宜スリット 1 2 2 と総称する。ここで、スリット板 9 0 は、後述するアライメント系のベースライン計測に用いられる基準マークその他の基準マークが形成される基準マーク板及び後述する多点焦点位置検出系のセンサ間キャリブレーションを行うための基準反射板の少なくとも一方を兼ねても良い。勿論、スリット板 9 0 とは、別に基準マーク板を設けて

も良いことは勿論である。

【 0 0 5 1 】

前記受光ガラス 8 2 の素材としては、ここでは、K r F エキシマレーザ光、あるいはA r F エキシマレーザ光の透過性の良い、合成石英、あるいはホタル石などが用いられる。

【 0 0 5 2 】

スリット 1 2 2 下方の Z チルトステージ 3 8 内部には、スリット 1 2 2 を介して鉛直下向きに入射した照明光 I L の光路を水平に折り曲げるミラー 8 8 を介在させてレンズ 8 4 , 8 6 から成るリレー光学系 (8 4 、 8 6) が配置され、このリレー光学系 (8 4 、 8 6) の光路後方のウエハステージ W S T の + Y 側の側壁に、リレー光学系 (8 4 、 8 6) によって所定光路長分だけリレーされた照明光束をウエハステージ W S T の外部に送光する送光レンズ 8 7 が固定されている。

10

【 0 0 5 3 】

送光レンズ 8 7 によってウエハステージ W S T の外部に送り出される照明光 I L の光路上には、X 軸方向に所定長さを有するミラー 9 6 が傾斜角 4 5 ° で斜設されている。このミラー 9 6 によって、ウエハステージ W S T の外部に送り出された照明光 I L の光路が鉛直上方に向けて 9 0 ° 折り曲げられる。この折り曲げられた光路上に送光レンズ 8 7 に比べて大径の受光レンズ 8 9 が配置されている。この受光レンズ 8 9 の上方には、光センサ 1 2 4 が配置されている。これら受光レンズ 8 9 及び光センサ 1 2 4 は、所定の位置関係を保ってケース 9 2 内に収納され、該ケース 9 2 は取付け部材 9 3 を介してベース 1 6 の上面に植設された支柱 9 7 の上端部近傍に固定されている。

20

【 0 0 5 4 】

前記光センサ 1 2 4 としては、微弱な光を精度良く検出することが可能な光電変換素子 (受光素子) 、例えばフォト・マルチプライヤ・チューブ (P M T 、光電子増倍管) などが用いられる。光センサ 1 2 4 からの光電変換信号 P は、図 1 の信号処理装置 8 0 を介して主制御装置 5 0 に送られるようになっている。なお、信号処理装置 8 0 は、例えば増幅器、サンプルホルダ、A / D コンバータ (通常 1 6 ビットの分解能のものが用いられる) などを含んで構成することができる。

【 0 0 5 5 】

なお、前述の如く、スリット 1 2 2 は反射膜 8 3 に形成されているが、以下においては、便宜上スリット板 9 0 にスリット 1 2 2 が形成されているものとして説明を行う。

30

【 0 0 5 6 】

上述のようにして構成された空間像計測装置 5 9 によると、後述する、投影光学系 P L を介してのレチクル R 上又はレチクルマーク板 R F M 上の各種マークの投影像 (空間像) の計測の際に、投影光学系 P L を透過してきた照明光 I L によって空間像計測装置 5 9 のスリット板 9 0 が照明されると、そのスリット板 9 0 上のスリット 1 2 2 を透過した照明光 I L がレンズ 8 4 、ミラー 8 8 、レンズ 8 6 及び送光レンズ 8 7 を介してウエハステージ W S T の外部に導き出される。そして、そのウエハステージ W S T の外部に導き出された照明光 I L は、ミラー 9 6 によって光路が鉛直上方に折り曲げられ、受光レンズ 8 9 を介して光センサ 1 2 4 によって受光され、該光センサ 1 2 4 からその受光量に応じた光電変換信号 (光量信号) P が信号処理装置 8 0 を介して主制御装置 5 0 に出力される。

40

【 0 0 5 7 】

本実施形態の場合、評価マーク又は計測マークの投影像 (空間像) の計測はスリットスキャン方式により行われるので、その際には、送光レンズ 8 7 が、受光レンズ 8 9 及び光センサ 1 2 4 に対して移動することになる。そこで、空間像計測装置 5 9 では、所定の範囲内で移動する送光レンズ 8 7 を介した光がすべて受光レンズ 8 9 に入射するように、各レンズ、及びミラー 9 6 の大きさが設定されている。

【 0 0 5 8 】

このように、空間像計測装置 5 9 では、スリット板 9 0 、レンズ 8 4 、 8 6 、ミラー 8 8 、及び送光レンズ 8 7 により、スリット 1 2 2 を介した照明光 I L をウエハステージ W S T 外に導出する光導出部が構成され、受光レンズ 8 9 及び光センサ 1 2 4 によって、ウ

50

エハステージW S T 外へ導出された光を受光する受光部が構成されている。この場合、これら光導出部と受光部とは、機械的に分離されている。そして、空間像計測に際してのみ、光導出部と受光部とは、ミラー 9 6 を介して光学的に接続される。

【 0 0 5 9 】

すなわち、空間像計測装置 5 9 では、光センサ 1 2 4 がウエハステージW S T の外部の所定位置に設けられているため、光センサ 1 2 4 の発熱がウエハ干渉計 5 4 W の計測精度等に与える悪影響を可能な範囲で抑制するようにしている。また、ウエハステージW S T の外部と内部とをライトガイド等により接続していないので、ウエハステージW S T の外部と内部とがライトガイドにより接続された場合のようにウエハステージW S T の駆動精度が悪影響を受けることがない。

10

【 0 0 6 0 】

勿論、熱の影響等を見無視、あるいは排除できるような場合には、光センサ 1 2 4 をウエハステージW S T の内部に設けても良い。なお、空間像計測装置 5 9 を用いて行われる空間像計測方法などについては、後に詳述する。

【 0 0 6 1 】

図 1 に戻り、投影光学系 P L の側面には、ウエハW 上のアライメントマーク（位置合わせマーク）を検出するオフアクシス・アライメント系 A L G が設けられている。本実施形態では、このアライメント系 A L G として、画像処理方式のアライメントセンサ、いわゆる F I A（Field Image Alignment）系が用いられている。このアライメント系 A L G の検出信号は、主制御装置 5 0 に供給されるようになっている。

20

【 0 0 6 2 】

更に、本実施形態の露光装置 1 0 では、図 1 に示されるように、主制御装置 5 0 によってオンオフが制御される光源を有し、投影光学系 P L の結像面に向けて多数のピンホール又はスリットの像を形成するための結像光束を、光軸 A X に対して斜め方向より照射する照射系 6 0 a と、それらの結像光束のウエハW 表面での反射光束を受光する受光系 6 0 b とから成る物体位置計測機構としての斜入射方式の多点焦点位置検出系が設けられている。なお、本実施形態の多点焦点位置検出系（6 0 a、6 0 b）と同様の多点焦点位置検出系の詳細な構成は、例えば特開平 6 - 2 8 3 4 0 3 号公報及びこれに対応する米国特許第 5, 4 4 8, 3 3 2 号等に関示されている。本国際出願で指定した指定国（又は選択した選択国）の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

30

【 0 0 6 3 】

主制御装置 5 0 では、走査露光時等に、受光系 6 0 b からの焦点ずれ信号（デフォーカス信号）、例えば S カーブ信号に基づいて焦点ずれが零となるように、ウエハステージ駆動系 5 6 W を介して Z チルトステージ 3 8 の Z 軸方向への移動、及び 2 次元的な傾斜（すなわち、 x 、 y 方向の回転）を制御する、すなわち多点焦点位置検出系（6 0 a、6 0 b）の出力に基づいてステージ制御装置 7 0 及びウエハステージ駆動系 5 6 W を介して Z チルトステージ 3 8 を制御することにより、照明領域 I A R と共役な露光領域（照明光 I L の照射領域）I A 内で投影光学系 P L の結像面とウエハW の表面とを実質的に合致させるフォーカス・レベリング制御を実行する。

40

【 0 0 6 4 】

さらに、図 1 では図示が省略されているが、本実施形態の露光装置 1 0 では、レチクル R の上方に、投影光学系 P L を介してレチクル R 上のレチクルマークとこれに対応する基準マーク板上の基準マークとを同時に観察するための露光波長の光を用いた T T R（Through The Reticle）アライメント系から成る一対のレチクルアライメント検出系が X 軸方向に所定距離隔てて設けられている。これらのレチクルアライメント検出系としては、例えば特開平 7 - 1 7 6 4 6 8 号公報及びこれに対応する米国特許第 5, 6 4 6, 4 1 3 号などに開示されるものと同様の構成のものが用いられる。本国際出願で指定した指定国（又は選択した選択国）の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

50

【 0 0 6 5 】

また、さらに、図示は省略されているが、Zチルトステージ38には、例えば国際公開第2003/065428号パンフレットなどに開示される、シャック-ハルトマン(Shack-Hartman)方式の波面収差計測器が、設置可能である。

【 0 0 6 6 】

次に、空間像計測装置59を用いた、水平方向のスリットスキャン(以下、適宜「水平スキャン」と呼ぶ)による空間像計測について簡単に説明する。

【 0 0 6 7 】

図4には、空間像計測装置59を用いて、レチクルR1に形成された計測マークPM_yの空間像が計測されている最中の状態が示されている。この図4におけるレチクルR1は、空間像計測専用のテストレチクル、デバイスの製造に用いられるデバイスレチクルであって、専用の計測マークが形成されたレチクル、あるいは、前述のレチクルマーク板RFMなどの空間像計測に用いられるマークが形成された部材を、代表的に示すものである。

【 0 0 6 8 】

ここで、レチクルR1には、所定の箇所に、X軸方向を長手方向とする計測マークPM_yと、Y軸方向を長手方向とする計測マークPM_xとが形成されているものとする。ここで、計測マークPM_y及び計測マークPM_xは、それぞれX軸方向又はY軸方向に周期性を有するマークであっても良く、例えばデューティ比が1:1のラインアンドスペース(L/S)マークであっても良い。また、計測マークPM_yと計測マークPM_xとは、近接して配置されていても良い。

【 0 0 6 9 】

例えば、計測マークPM_yの空間像の計測にあたり、主制御装置50により、図1に示される可動レチクルブラインド30Bが不図示のブラインド駆動装置を介して駆動され、照明光ILの照明領域が計測マークPM_y部分を含む所定領域に制限される(図4参照)。この状態で、主制御装置50により光源14の発光が開始され、照明光ILが計測マークPM_yに照射されると、計測マークPM_yによって回折、散乱した光(照明光IL)は投影光学系PLにより屈折され、該投影光学系PLの像面に計測マークPM_yの空間像(投影像)が形成される。このとき、ウエハステージWSTは、図5(A)に示されるように、スリット板90上のスリット122_yの+Y側(又は-Y側)に計測マークPM_yの空間像PM_y'が形成される位置に設定されているものとする。

【 0 0 7 0 】

そして、主制御装置50の指示の下、ステージ制御装置70により、ウエハステージWSTが図5(A)中に矢印F_yで示されるように+Y方向に駆動されると、スリット122_yが空間像PM_y'に対してY軸方向に走査される。この走査中に、スリット122_yを通過する光(照明光IL)がウエハステージWST内の受光光学系、ウエハステージWST外部の反射ミラー96及び受光レンズ89を介して光センサ124で受光され、その光電変換信号Pが図1に示される信号処理装置80に供給される。信号処理装置80では、その光電変換信号に所定の処理を施して、空間像PM_y'に対応する光強度信号を主制御装置50に供給する。なお、この際、信号処理装置80では、光源14からの照明光ILの発光強度のばらつきによる影響を抑えるために、図1に示されるインテグレータセンサ46の信号により光センサ124からの信号を、例えば除算処理により規格化した信号を主制御装置50に供給するようになっている。主制御装置50では、前記走査駆動中に信号処理装置80を介して入力される光センサ124からの出力信号と、ステージ制御装置70を介して入力されるZチルトステージ38のY軸方向の位置(Y位置)の情報とを、所定のサンプリング間隔で、同時に取り込むことで、投影像(空間像)の強度信号(空間像プロファイル)を取得する。

【 0 0 7 1 】

図5(B)には、上記の空間像計測の際に得られる投影像(空間像)の強度信号Pの一例が示されている。

【 0 0 7 2 】

計測マーク P M x の空間像を計測する場合には、ウエハステージ W S T を、スリット板 9 0 上のスリット 1 2 2 x の + X 側 (又は - X 側) に計測マーク P M x の空間像が形成される位置に設定して、ウエハステージ W S T を図 5 (A) 中に矢印 F x で示されるように + X 方向に駆動して上記と同様のスリットスキャン方式による計測を行うことにより、計測マーク P M x の空間像に対応する強度信号を得ることができる。

【 0 0 7 3 】

次に、本実施形態の露光装置 1 0 で上述したレチクル R のパターン面の走査像面の計測動作を含む、露光動作の一例を、主制御装置 5 0 内部の C P U の処理アルゴリズムを示す図 6 のフローチャートに基づいて説明する。

【 0 0 7 4 】

前提として、多点焦点位置検出系 (6 0 a 、 6 0 b) の各検出点における面位置情報を検出する複数のセンサ (フォトディテクタ) 相互間の出力のキャリブレーションは終了しており、各センサが出力する面位置情報は、それぞれ正確であるものとする。また、Z チルトステージ 3 8 には、前述のシャック - ハルトマン (Shack-Hartman) 方式の波面収差計測器が設置されているものとする。

【 0 0 7 5 】

まず、図 6 のステップ 2 0 2 で、R A M 内の所定領域に格納されているデータに基づいて、投影光学系 P L の結像特性のキャリブレーション (いわゆるレンズキャリブレーション) を行うかどうか判断する。ここで、オペレータが、レンズキャリブレーションを実行する旨の命令を不図示の入力装置を介して入力していた場合には、上記の R A M 内の所定の領域にレンズキャリブレーション実行命令のデータが格納されており、上記命令を入力していない場合には、そのレンズキャリブレーション実行命令のデータは格納されていない。オペレータは、通常、投影光学系 P L の結像特性の安定性により、必要に応じてレンズキャリブレーションの実行を指示する。

【 0 0 7 6 】

そして、このステップ 2 0 2 における判断が肯定された場合には、ステップ 2 0 4 の投影光学系の波面収差計測処理のサブルーチンに移行する。このステップ 2 0 4 のサブルーチンでは、例えば国際公開第 2 0 0 3 / 0 6 5 4 2 8 号パンフレットなどに詳細に開示されるような手順で、波面収差計測用のピンホールレチクル及び前述の波面収差計測器を用いて、投影光学系 P L の波面収差の計測を、投影光学系 P L の視野内の有効領域 (ここでは、照明領域 I A R とほぼ対応する領域であるものとする) 内の所定数の計測点 (評価点) について行う。このステップ 2 0 4 の処理により、評価点毎の波面を展開したフリンジツェルニケ多項式の各項の係数 (例えば第 1 項から第 3 7 項までの係数) が得られる。

【 0 0 7 7 】

次のステップ 2 0 6 では、上記ステップ 2 0 4 で取得したフリンジツェルニケ多項式の各項の係数に基づいて、投影光学系 P L の波面収差が、全ての評価点で最小となるような前述の各可動レンズの各自由度方向の駆動量の指令値を算出して結像特性補正コントローラ 7 8 に与える。これにより、結像特性補正コントローラ 7 8 によって上記指令値に対応する各駆動素子の駆動電圧が算出され、その算出された駆動電圧で各駆動素子が駆動されることで、投影光学系の結像特性の較正 (レンズキャリブレーション) が行われる。

【 0 0 7 8 】

一方、上記ステップ 2 0 2 における判断が否定された場合、又は上述のレンズキャリブレーションが終了した場合には、ステップ 2 0 8 に移行して、レチクル交換 (レチクルがレチクルステージ R S T 上に搭載されていない場合は、レチクルを単にロード) する。ここでは、実際に回路パターン of 露光に用いられるレチクル (レチクル R とする) を図 1 のレチクルステージ R S T 上のバキュームチャックが設けられた不図示のプラテン上に吸着保持する。

【 0 0 7 9 】

ここで、レチクル R について説明する。図 9 には、このレチクル R の平面図が示されている。このレチクル R には、パターン領域 P A を区画するクロムなどの金属膜からなる矩

10

20

30

40

50

形棒状の遮光帯 E S B が形成されている。そして、遮光帯 E S B の周囲全体に渡って、 $100 \sim 500 \mu\text{m}$ 角（ウエハ上換算値で $25 \sim 125 \mu\text{m}$ 角）程度のマーク領域 $MR_1 \sim MR_9$ 、 $ML_1 \sim ML_9$ 、 $MU_1 \sim MU_5$ 、 $MD_1 \sim MD_5$ が形成されている。遮光帯 E S B は、レチクル上で $1 \sim 6 \text{ mm}$ 、例えば 1.4 mm （ウエハ上換算値で $350 \mu\text{m}$ ）の幅を有し、該遮光帯 E S B で区画されるパターン領域 P A のサイズは、レチクル R の外形が 150 mm 角程度である場合には、最大で $100 \text{ mm} \times 132 \text{ mm}$ （ウエハ上換算値で $25 \text{ mm} \times 33 \text{ mm}$ ）程度である。

【0080】

また、このレチクル R 上の中心（レチクルセンタ）を通る非走査方向の直線状のレチクルセンタに関して左右対称となる位置には、一对のレチクルアライメントマーク RM_1 、 RM_2 がそれぞれ形成されている。

10

【0081】

図 9 に示されるように、前記遮光帯 E S B の走査方向（Y 軸方向）に平行な一对の第 1 の対向辺にそれぞれ沿ってかつ遮光帯 E S B の外側に 9 対のマーク領域 MR_1 、 ML_1 、 MR_2 、 ML_2 、……、 MR_9 、 ML_9 が、前記パターン領域 P A の中心を通る走査方向の軸に関して対称に配置されている。各マーク領域は、パターン領域 P A から所定距離、例えば遮光帯の幅程度（例えばレチクル上で $1 \sim 6 \text{ mm}$ 程度）以上離れていることが望ましい。これは、露光の際に、遮光帯の Y 軸方向に平行な一对の対向辺に、各ブレードのエッジが掛かるように、可動レチクルブラインド 30 B の開口の非走査方向の幅を調整することで、マーク領域に照明光 I L を照射することなく、パターン領域 P A に照明光 I L を照射できるようにするためである。

20

【0082】

また、遮光帯 E S B の非走査方向（X 軸方向）に平行な一对の第 2 の対向辺にそれぞれ沿ってかつ遮光帯 E S B の外側に 5 対のマーク領域 MD_1 、 MU_1 、 MD_2 、 MU_2 、……、 MD_5 、 MU_5 が、パターン領域 P A の中心を通る非走査方向の軸（及び走査方向の軸）に関して対称に配置されている。各マーク領域は、パターン領域 P A から所定距離、例えば遮光帯 E S B の幅程度（例えばレチクル上で $1 \sim 6 \text{ mm}$ 程度）以上離れていることが望ましい。この場合、マーク領域 MD_1 、 MU_1 、 MD_2 、 MU_2 、……、 MD_5 、 MU_5 は、レチクル R にペリクルを取り付けたときに、そのペリクルフレームから 2 mm 以上離れた位置に配置されるようにすることが望ましい。

30

【0083】

前記マーク領域、 $MR_1 \sim MR_9$ 、 $ML_1 \sim ML_9$ 、 $MD_1 \sim MD_5$ 、 $MU_1 \sim MU_5$ のそれぞれには、図 10 に示されるように、X 軸方向を周期方向とするフォーカス計測マーク Mx_1 及び像位置計測マーク Mx_2 、並びに Y 軸方向を周期方向とするフォーカス計測マーク My_1 及び像位置計測マーク My_2 が、それぞれ形成されている。

【0084】

また、上述の各マーク領域の周辺は、計測時の迷光防止のためレチクル上で $1 \sim 6 \text{ mm}$ 程度、例えば 1.4 mm （ウエハ上換算で $350 \mu\text{m}$ ）の幅のクロムなどの遮光パターン（遮光膜）で囲まれていることが好ましい。

【0085】

40

本実施形態では、各フォーカス計測マーク Mx_1 、 My_1 としては、一例として、29 ラインの線幅 $0.8 \mu\text{m}$ （ウエハ上換算値で $0.2 \mu\text{m}$ ）のデューティ比 1 : 1 の L / S マークが用いられ、各像位置計測マーク Mx_2 、 My_2 としては、5 ラインの線幅 $4.0 \mu\text{m}$ （ウエハ上の換算値で $1.0 \mu\text{m}$ ）のデューティ比 1 : 1 の L / S マークが用いられている。本実施形態では、像位置計測マークは線幅の太い L / S マークになっているが、フォーカス計測マークを像位置計測マークとして兼用することも可能である。

【0086】

図 6 の説明に戻り、上記ステップ 208 のレチクル交換後、ステップ 210 の基準像面の計測処理を行うサブルーチンに移行する。

【0087】

50

ここで、前提として評価マーク $FRM_{1,1}$ 、 $FRM_{1,2}$ 、...、 $FRM_{1,5}$ 、 $FRM_{2,5}$ 、 $FRM_{2,4}$ 、...、 $FRM_{2,1}$ の順番で、レチクルマーク板 RFM 上の 10 個の評価マークそれぞれの空間像計測が行われるように、予め計測順序が定められているものとする。

【0088】

このサブルーチン 210 では、まず、図 7 のステップ 301 において、評価マークの計測の順番を示す第 1 カウンタのカウント値 k を 1 に初期化する ($k = 1$)。

【0089】

次のステップ 302 では、レチクルステージ駆動系 56R を介してレチクルステージ RST を駆動し、レチクルマーク板 RFM を投影光学系 PL の有効視野（前述した照明領域 IAR とほぼ一致）内に位置決めする。

【0090】

次のステップ 304 では、可動レチクルブラインド 30B を不図示のブラインド駆動装置を介して駆動し、第 k 番目の評価マーク（ここでは第 1 番目の評価マーク $FRM_{1,1}$ ）を含む一部領域に照明光 IL の照射領域を制限する。

【0091】

次のステップ 306 では、スリット板 90 表面の高さ位置、すなわち Z 軸方向の位置（以下、「 Z 位置」と略述する）が所定の初期位置になるように、 Z チルトステージ 38 の Z 位置をステージ制御装置 70 を介して調整する。この場合の「初期位置」としては、例えば、露光装置の立ち上げ時や、以前検出したベストフォーカス位置が装置の初期化等により消去された場合などには、デフォルト設定の Z 位置（高さ位置）、例えば前述のエンコード 23 の中立位置（原点位置）を採用し、前回行われたベストフォーカス位置の検出結果のデータ（多点焦点位置検出系の計測値）が、消去されることなく、主制御装置 50 内のメモリ等に記憶されている場合には、その検出結果のデータであるベストフォーカス位置を採用するものとする。

【0092】

次のステップ 308 では、第 k 番目の評価マーク（ここでは第 1 番目の評価マーク $FRM_{1,1}$ ）について、先に計測マーク PMx に関して説明したのと同様の X 軸方向の水平スキャンによる空間像計測を行い、第 k 番目の評価マーク（ここでは第 1 番目の評価マーク $FRM_{1,1}$ ）の投影像（空間像）の横軸を X 位置とする強度信号（空間像プロファイル）を取得する。

【0093】

次のステップ 310 では、第 k 番目の評価マーク（ここでは第 1 番目の評価マーク $FRM_{1,1}$ ）について、先に計測マーク PM_y に関して説明したのと同様の Y 軸方向の水平方向スキャンによる空間像計測を行い、第 k 番目の評価マーク（ここでは第 1 番目の評価マーク $FRM_{1,1}$ ）の投影像（空間像）の横軸を Y 位置とする強度信号（空間像プロファイル）を取得する。

【0094】

次のステップ 312 では、所定数（ここでは、15 とする）のステップについて、スリット板 90 の Z 位置を変更して、空間像計測を行ったか否かを判断する。ここでは、スリット板 90 の初期位置について空間像計測を行ったのみなので、このステップ 312 における判断は否定され、ステップ 314 に移行して、スリット板 90 の Z 位置を所定の手順に従って変更した後、ステップ 308 に戻る。

【0095】

ここで、上記ステップ 314 におけるスリット板 90 の Z 位置の設定及び変更は、多点焦点位置検出系（60a, 60b）によってその k 番目（ここでは第 1 番目の評価マーク $FRM_{1,1}$ ）の像の近傍の検出点での出力に基づいて行われる。そして、スリット板 90 の Z 位置の設定及び変更の順序は、任意で良い。

【0096】

なお、高 NA の投影光学系を使用する露光装置においては、例えばウエハ上換算値で線幅 $0.2 \mu m$ 以下の細い線幅の評価マーク（又は計測マーク）を用いる計測に際しては、

10

20

30

40

50

焦点深度が狭いため、上記 z (ステップ・ピッチ) の値をあまり大きくとると、例えば第 1 回目の変更の段階で、スリット板 90 (スリット 122x、122y) の Z 位置が、焦点深度の範囲外になる (ベストフォーカス位置を通り越してしまう) ことも考えられるので、ある程度小さい値、例えば $0.01\ \mu\text{m} \sim 0.05\ \mu\text{m}$ 程度の値とすることが望ましい。

【0097】

その後、ステップ 312 における判断が肯定されるまで、ステップ 308 310 312 314 308 のループの処理を繰り返す。

【0098】

このようにして、ステップ 312 における判断が肯定されると、ステップ 316 に移行するが、このとき、第 k 番目の評価マーク (ここでは第 1 番目の評価マーク $FRM_{1,1}$) について、15 ステップの Z 位置について、Z 位置毎に、X 軸方向水平スキャンによる空間像の強度信号 (空間像プロファイル)、Y 軸方向スキャンによる空間像の強度信号 (空間像プロファイル) が得られている。

【0099】

ステップ 316 では、第 k 番目の評価マーク (ここでは第 1 番目の評価マーク $FRM_{1,1}$) についての合計 30 個の空間像の強度信号に基づいて、その第 k 番目の評価マーク (ここでは第 1 番目の評価マーク $FRM_{1,1}$) のベストフォーカス位置を、次の a. ~ c. のようにして算出する。

a. スリット板 90 の Z 位置 (光軸方向位置) 毎に得た 15 個の X 軸方向の水平スキャンによる強度信号のコントラスト値をそれぞれ算出し、それらのコントラスト値を最小自乗法により関数フィッティングしてコントラストカーブ (コントラストとフォーカス位置との関係) を得、そのコントラストカーブのピーク点に基づいて、第 k 番目の評価マーク (ここでは第 1 番目の評価マーク $FRM_{1,1}$) を X マークとして扱った場合のベストフォーカス位置 Z_{kx} (コントラストを最大とするフォーカス位置) を算出する。

b. 同様に、スリット板 90 の Z 位置 (光軸方向位置) 毎に得た 15 個の Y 軸方向の水平スキャンによる強度信号のコントラスト値をそれぞれ算出し、それらのコントラスト値を最小自乗法により関数フィッティングしてコントラストカーブを得、そのコントラストカーブのピーク点に基づいて、第 k 番目の評価マーク (ここでは第 1 番目の評価マーク $FRM_{1,1}$) を Y マークとして扱った場合のベストフォーカス位置 Z_{ky} を算出する。

c. 次に、上記のベストフォーカス位置 Z_{kx} 、 Z_{ky} の平均値 $(Z_{kx} + Z_{ky}) / 2$ を、第 k 番目の評価マーク (ここでは第 1 番目の評価マーク $FRM_{1,1}$) が形成されたレチクルマーク板 RFM の基準面上の点のベストフォーカス位置 (最良結像面位置) Z_{best_k} とする。勿論、この Z_{best_k} は、その第 k 番目の評価マーク (ここでは第 1 番目の評価マーク $FRM_{1,1}$) の像の最近傍の検出点における検出対象物表面の Z 位置を検出する多点焦点位置検出系 (60a, 60b) のセンサの計測値 (すなわち設定されている検出原点からのオフセット値) である。

【0100】

ところで、Z 軸方向の計測位置が上記の 15 位置に限られるわけではなく、他の任意の数であっても良いことは言うまでもない。

【0101】

なお、露光装置が使用される露光工程によっては、長手方向が X 軸方向及び Y 軸方向のいずれかと平行であるパターンが特に重要となる場合もある。従って、上記のベストフォーカス位置 Z_{best_k} の算出のための、 Z_{kx} と Z_{ky} の上記平均化処理に際しては、重要な方向のパターンにおけるベストフォーカス位置に重みを付けて平均化処理を行うこともできる。

【0102】

次のステップ 318 では、全ての評価マークについて処理が終了したか否かを判断する。ここでは、第 1 番目の評価マーク $FRM_{1,1}$ についての処理が終了したのみなので、ここでの判断は否定され、ステップ 320 に移行して、第 1 カウンタのカウント値 k を 1 イ

10

20

30

40

50

ンクリメント ($k \rightarrow k + 1$) した後、ステップ 304 に戻り、以降、ステップ 318 における判断が肯定されるまで、上述のステップ 304 以下の処理を繰り返す。

【0103】

これにより、第2番目～第10番目の評価マーク $FRM_{1,2}$ 、 $FRM_{1,3}$ 、...、 $FRM_{1,5}$ 、 $FRM_{2,5}$ 、 $FRM_{2,4}$ 、...、 $FRM_{2,1}$ のそれぞれについて、15段階のZ位置について、X軸方向の水平スキャン及びY軸方向の水平スキャンによる空間像の計測（投影像（空間像）の強度信号（空間像プロファイル）の取得）、並びに各評価マークが形成されたレチクルマーク板RFMの基準面上の点（評価点）のベストフォーカス位置 $Z_{best2} \sim Z_{best10}$ の算出が行われる。

【0104】

そして、ステップ318における判断が肯定されると、ステップ322に進んで、最小自乗法による近似曲面（又は近似平面）を算出することで、基準像面、すなわちレチクルマーク板RFMの基準面の投影光学系PLによる投影像面を算出した後、このサブルーチンの処理を終了してメインルーチンのステップ212にリターンする。

【0105】

ステップ212では、レチクルRのパターンの像が投影光学系PLによって形成される走査像面を計測するサブルーチンの処理を行う。ここで、走査像面とは、スキャンに伴って順次移動するレチクルパターン面内の「局所領域」が投影光学系PLを介してウエハW側に投影された像面の軌跡の如き面に相当し、レチクルRの平坦度誤差（変形による凹凸を含む）や、レチクルステージRSTの走査方向位置変化に伴うレチクルR上下動並びにピッチング及びローリングにより生じる像面位置の変動をも含む。

【0106】

このステップ212のサブルーチンの一例が、図8に示されている。

【0107】

ここで、前提としてマーク領域 MU_3 、 MR_1 、 ML_1 、 ML_2 、 MR_2 、 MR_3 、 ML_3 、...、 MR_9 、 ML_9 、 MD_3 の順番で、レチクルR上の20個のマーク領域それぞれの計測マークの空間像計測が行われるように、予め計測順序が定められているものとする。

【0108】

このサブルーチン212では、まず、図8のステップ402で、空間像計測の対象となるマーク領域の番号を示す第2カウンタのカウント値mを1に初期化する（ $m = 1$ ）。

【0109】

次のステップ404では、前述の第2カウンタのカウント値mに基づいて、第m番目のマーク領域（ここでは第1番目のマーク領域 MU_3 ）が、投影光学系PLの視野内の走査方向の中央に位置するように、レチクルステージRSTを駆動する。なお、このステップ404におけるレチクルステージRSTの位置調整は、例えば、前述した一対のレチクルアライメントマーク RM_1 、 RM_2 を、前述の一対のレチクルアライメント検出系を用いて、同時に検出し、この検出結果に基づいて行うこととすることができる。

【0110】

次のステップ406では、不図示のブラインド駆動装置を介して可動レチクルブラインド30Bを駆動し、その第m番目のマーク領域（ここでは第1番目のマーク領域 MU_3 ）近傍にのみ照明光ILの照射領域が制限されるように、可動レチクルブラインド30Bの開口を設定する。

【0111】

次のステップ408では、前述したステップ306と同様に、スリット板90表面のZ位置が所定の初期位置になるように、Zチルトステージ38のZ位置をステージ制御装置70を介して調整する。

【0112】

次のステップ410では、前述したステップ308と同様のX軸方向の水平スキャンにより、第m番目のマーク領域（ここでは第1番目のマーク領域 MU_3 ）内のフォーカス計測マーク Mx_1 、像位置計測マーク Mx_2 の空間像計測を行い、フォーカス計測マーク Mx

10

20

30

40

50

1、像位置計測マーク $M \times_2$ の投影像（空間像）の強度信号（空間像プロファイル）を取得する。

【 0 1 1 3 】

次のステップ 4 1 2 では、前述したステップ 3 1 0 と同様の Y 軸方向の水平スキャンにより、第 m 番目のマーク領域（ここでは第 1 番目のマーク領域 $M U_3$ ）内のフォーカス計測マーク $M y_1$ 、像位置計測マーク $M y_2$ の空間像計測を行い、フォーカス計測マーク $M y_1$ 、像位置計測マーク $M y_2$ の投影像（空間像）の強度信号（空間像プロファイル）を取得する。

【 0 1 1 4 】

次のステップ 4 1 4 では、上記ステップ 4 1 0、4 1 2 でそれぞれ取得した像位置計測マーク $M \times_2$ 、 $M y_2$ の投影像（空間像）の強度信号（空間像プロファイル）に基づいて、像位置計測マーク $M \times_2$ の投影位置（X 位置）、像位置計測マーク $M y_2$ の投影位置（Y 位置）をそれぞれ検出する。この場合、例えば、像位置計測マーク $M \times_2$ の空間像プロファイル（この空間像プロファイルは、山形になる）と、所定のスライスレベルとの 2 交点の中点の計測方向の座標位置（X 位置）を、像位置計測マーク $M \times_2$ の投影位置とすることができる。像位置計測マーク $M y_2$ についても同様である。

【 0 1 1 5 】

次のステップ 4 1 6 では、予め定めたステップ数（ここでは、15 とする）、スリット板 90 の Z 位置を変更して空間像計測を行ったか否かを判断する。ここでは、スリット板 90 の初期位置について空間像計測を行ったのみなので、このステップ 4 1 6 における判断は否定され、ステップ 4 1 8 に移行して、前述したステップ 3 1 4 と同様にして、スリット板 190 の Z 位置を所定の手順に従って変更した後、ステップ 4 1 0 に戻り、以降、ステップ 4 1 6 における判断が肯定されるまで、ステップ 4 1 0 4 1 2 4 1 4 4 1 6 4 1 8 4 1 0 のループの処理を繰り返す。

【 0 1 1 6 】

これにより、第 m 番目のマーク領域（ここでは第 1 番目のマーク領域 $M U_3$ ）について、15 ステップの Z 位置について、Z 位置毎に、フォーカス計測マーク $M \times_1$ 及び像位置計測マーク $M \times_2$ の空間像の強度信号（空間像プロファイル）、並びにフォーカス計測マーク $M y_1$ 及び像位置計測マーク $M y_2$ の空間像の強度信号（空間像プロファイル）が得られるとともに、像位置計測マーク $M \times_2$ の投影位置、像位置計測マーク $M y_2$ の投影位置が算出される。

【 0 1 1 7 】

一方、ステップ 4 1 6 の判断が肯定された場合には、ステップ 4 2 0 に進んで、前述のステップ 3 1 6 と同様の手順で、フォーカス計測マーク $M \times_1$ 、 $M y_1$ についてのベストフォーカス位置をそれぞれ算出し、その 2 つのベストフォーカス位置の算出結果の平均値を、その m 番目のマーク領域が形成されたレチクル R のパターン面上の点のベストフォーカス位置（最良結像面位置）としてメモリに記憶する。

【 0 1 1 8 】

また、ステップ 4 2 0 において、フォーカス計測マーク $M \times_1$ 、 $M y_1$ それぞれのベストフォーカス位置と同一の Z 位置における像位置計測マーク $M \times_2$ 、 $M y_2$ の投影位置を、その m 番目のマーク領域内の像位置計測マーク $M \times_2$ 、 $M y_2$ の投影位置として、メモリに記憶する。

【 0 1 1 9 】

次のステップ 4 2 2 では、予定数（ここでは 20 個）のマーク領域について処理が終了したか否か判断する。ここでは、第 1 番目のマーク領域 $M U_3$ の処理が終了したのみなので、このステップ 4 2 2 における判断は否定され、ステップ 4 2 4 に移行して、カウント値 m を 1 インクリメント（ $m \rightarrow m + 1$ ）した後、ステップ 4 0 4 に戻り、以降ステップ 4 2 2 における判断が肯定されるまで、上記ステップ 4 0 4 以下の処理を繰り返す。

【 0 1 2 0 】

これにより、第 2 番目～第 20 番目のマーク領域 $M R_1$ 、 $M L_1$ 、 $M L_2$ 、 $M R_2$ 、 $M R_3$

10

20

30

40

50

、 ML_3 、……、 MR_9 、 ML_9 、 MD_3 それぞれの内部の、各4つの計測マークの空間像の計測が行われ、投影像（空間像）の強度信号（空間像プロファイル）が取得されるとともに、それぞれのマーク領域が形成されたレチクルRのパターン面上の点のベストフォーカス位置（最良結像面位置）と、像位置計測マーク M_{x_2} の投影位置（X位置）及び像位置計測マーク M_{y_2} の投影位置（Y位置）が、メモリ内に記憶される。

【0121】

一方、ステップ422における判断が肯定されると、ステップ426に進み、次のようにしてレチクルRのパターン面の走査像面を算出する（推定する）。

【0122】

ステップ422における判断が肯定された段階では、レチクルステージRST上に搭載されたレチクルRに形成されたパターンの像が投影光学系PLによって形成される走査像面上の20箇所の評価点、すなわち、図11に示される、評価点 U_3 、 $L_1 \sim L_9$ 、 $R_1 \sim R_9$ 、及び D_3 のZ位置情報、すなわち、マーク領域 M_{U_3} 、 $ML_1 \sim ML_9$ 、 $MR_1 \sim MR_9$ 及び MD_3 に対応するパターン面上の点のベストフォーカス位置の計測結果 $Z(U_3)$ 、 $Z(L_1) \sim Z(L_9)$ 、 $Z(R_1) \sim Z(R_9)$ 及び $Z(D_3)$ がメモリ内に記憶されている。

【0123】

そこで、これらの計測結果 $Z(U_3)$ 、 $Z(L_1) \sim Z(L_9)$ 、 $Z(R_1) \sim Z(R_9)$ 及び $Z(D_3)$ を用いて、以下のようにして、走査像面全体の形状を関数を用いて表す。

【0124】

図11では、Y軸方向に9組の評価点（計測点）（ L_1, U_3, R_1 ）、（ L_2, R_2 ）、……、（ L_9, D_3, R_9 ）がある。9組の評価点のうち、相互に対を成す評価点のY座標は同一であり、これらのY座標を $Y_1 \sim Y_9$ とする。

【0125】

第1組目のベストフォーカス位置の計測結果 $Z(L_1)$ 、 $Z(U_3)$ 、 $Z(R_1)$ を通る2次曲線は $Z = a_1 \cdot X^2 + b_1 \cdot X + c_1$ で表される。ここで、マーク領域 M_{U_3} は、厳密に言うと、マーク領域 MR_1 、 ML_1 とはY座標値は異なるが、マーク領域 M_{U_3} のベストフォーカス位置 $Z(U_3)$ は、マーク領域 MR_1 、 ML_1 を結ぶ線分の中点のベストフォーカス位置とほぼ一致するとみなしても特に支障は無いと思われるので、第1組目に含めている。

【0126】

第2組目のベストフォーカス位置計測結果 $Z(L_2)$ 、 $Z(R_2)$ を通る2次曲線は $Z = a_2 \cdot X^2 + b_2 \cdot X + c_2$ で表される。

【0127】

同様に、第j組目（ $j = 3 \sim 8$ ）について、ベストフォーカス位置の計測結果 $Z(L_j)$ 、 $Z(R_j)$ を通る2次曲線は $Z = a_j \cdot X^2 + b_j \cdot X + c_j$ で表される。

【0128】

また、第9組目のベストフォーカス位置の計測結果 $Z(L_9)$ 、 $Z(D_3)$ 、 $Z(R_9)$ を通る2次曲線は $Z = a_9 \cdot X^2 + b_9 \cdot X + c_9$ で表される。ここで、 $Z(D_3)$ は、前述の $Z(U_3)$ と同様の理由により第9組目に含めている。

【0129】

このように9つの2次曲線を計算する。このとき2次の係数は Y_1 、 Y_9 でのみ計測可能なので、その間はY座標に応じた重み付けを行い、補完する。このようにすると、例えば Y_2 における曲線は次式（1）で表される。

【0130】

【数1】

$$Z(Y_2) = (a_1 \cdot \frac{Y_2 - Y_9}{Y_1 - Y_9} + a_9 \cdot \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1 - Y_9}) \cdot X^2 + b_2 \cdot X + c_2 \quad \cdots (1)$$

10

20

30

40

すなわち、2 次の係数は補完で求め b_2 、 c_2 は計測値 $Z(L_2)$ 、 $Z(R_2)$ を通ることから計算する。

【0131】

さらに、計測した評価点の間の Y 座標の 2 次曲線は Y 座標に応じて係数 a 、 b 、 c を補完する。例えば、 Y_1 と Y_2 の間では曲線は次式 (2) のように表される。

【0132】

【数 2】

$$\begin{aligned} Z(Y) = & (a_1 \cdot \frac{Y - Y_9}{Y_1 - Y_9} + a_9 \cdot \frac{Y_1 - Y}{Y_1 - Y_9}) \cdot X^2 \\ & + (b_1 \cdot \frac{Y - Y_2}{Y_1 - Y_2} + b_2 \cdot \frac{Y_1 - Y}{Y_1 - Y_2}) \cdot X \\ & + (c_1 \cdot \frac{Y - Y_2}{Y_1 - Y_2} + c_2 \cdot \frac{Y_1 - Y}{Y_1 - Y_2}) \quad \dots (2) \end{aligned}$$

10

このように Y 座標に応じて補間曲線を計算することにより、走査像面全体の形状をレチクル R 内の X、Y 座標位置、すなわちレチクルステージ RST の X、Y 座標位置に対する関数として、表現することができる。

【0133】

なお、このステップ 426 において、マーク領域マーク領域 MU_3 、 $ML_1 \sim ML_9$ 、 $MR_1 \sim MR_9$ 及び MD_3 それぞれの像位置計測マーク Mx_2 、 My_2 の投影位置と、各像位置計測マークの設計値とに基づいて、ディストーション分布を算出することもできる。

20

【0134】

ステップ 426 において、上述のようにして、走査像面を算出した後、ステップ 212 のサブルーチンの処理を終了して、図 6 のメインルーチンのステップ 214 にリターンする。

【0135】

ステップ 214 では、ステップ 210 で計測した基準像面に対するステップ 212 で求めた走査像面の差分を算出するとともに、その算出結果に基づいてレチクル R のパターン面のレチクルマーク板 RFM の基準面に対する差分に起因して生じる結像特性、例えば像面湾曲のレチクル R の Y 軸方向位置 (Y 座標) に応じた補正量を計算する。走査露光方式では照明領域 IAR (露光領域 IA) がスリット状であるため、レチクルステージ RST の走査方向の位置 (Y 座標) に応じて補正量を変えることにより、より細かい補正が可能となる。

30

【0136】

次のステップ 216 では、上記ステップ 214 で算出した補正量が所定の閾値より大きいかなかを判断する。このステップ 216 における判断が肯定される場合とは、結像特性を可能な限り補正しても残留誤差が大きすぎる場合 (すなわちエラー状態) であり、その原因としては、異物がレチクルステージ RST のプラテンとレチクルとの間に挟まれた場合やレチクルの製造誤差が大きい場合等が考えられる。従って、このステップ 216 における判断が肯定された場合には、ステップ 224 に移行して異物挟み込みなどのエラーメッセージを不図示のディスプレイの画面上に表示するとともにアラーム音を発するなどしてオペレータに警報を発した後、ステップ 226 で運転を停止する (本ルーチンの一連の処理を強制終了する)。

40

【0137】

一方、ステップ 216 における判断が否定された場合には、レチクル R のパターン面のレチクルマーク板 RFM の基準面に対する差分に起因して生じる、走査像面を基準像面に近づける補正を含む結像特性の補正後に露光が可能なのでステップ 218 に進み、半導体素子の回路パターンをウエハ上に焼き付けるための露光動作に入る。すなわち、例えば 1 ロットのウエハを順次 Z チルトステージ 38 上にロードして、各ウエハのショット領域に

50

対して走査露光を行う。この走査露光中に、上記ステップ 2 1 4 で求めておいた結像特性の補正量に基づいて、レチクルステージ R S T の Y 座標に応じて結像特性補正コントローラ 7 8 を介して可動レンズを駆動して走査像面を基準像面に近づける補正を行うとともに、多点焦点位置検出系 (6 0 a 、 6 0 b) の出力に基づいてステージ制御装置 7 0 及びウエハステージ駆動系 5 6 W を介して Z チルトステージ 3 8 を駆動して、その補正後の走査像面にウエハ W の表面を近づけるように、理想的には一致するように補正する (すなわち、前述のフォーカス・レベリング制御を実行する) 。

【 0 1 3 8 】

なお、上述の可動レンズを駆動して走査像面を基準平面に近づける補正、例えば像面湾曲の補正は、走査露光中に常時行うことは必須ではなく、例えば走査露光に先立って行うものとすることもできる。この場合、可動レンズの駆動によりフォーカス位置が変化する場合には、主制御装置 5 0 は、発生するフォーカス位置の変化量 Z' を走査露光前に算出しておき、走査露光中は、 $-Z'$ だけ変化させたフォーカス位置の目標値に基づいて、前述のフォーカス・レベリング制御を実行することとしても良い。これによって、レチクル R のパターン面の撓みによる像面湾曲、及びデフォーカスが補正されて、ウエハ W の表面が高精度にレチクル R のパターン面に対する実際の像面に合わせ込まれる。

【 0 1 3 9 】

すなわち、上記ステップ 2 1 8 では、非スキャン方向 (X 軸方向) の像面変化の一次成分は、Z チルトステージ 3 8 のローリング (X 方向チルト) 制御で補正され、2 次以上の成分は可動レンズの駆動により補正され、スキャン方向 (Y 軸方向) の像面変化は、Z チルトステージ 3 8 のピッチング (Y 方向チルト) 制御で補正され、像面のオフセット成分は、Z チルトステージ 3 8 の Z 軸方向位置の制御 (フォーカス制御) によって補正される。

【 0 1 4 0 】

そして、例えば 1 ロットのウエハへの露光動作が終了すると、ステップ 2 2 0 に進み、露光を継続するか否かを判断する。そして、このステップ 2 2 0 における判断が肯定された場合には、ステップ 2 2 2 に移行して、レチクルを交換するかどうか判断する。

【 0 1 4 1 】

ここで、同一レチクルで続けて露光を行う場合は、走査像面を再び測定する必要はないので、ステップ 2 1 8 に戻り、上述と同様の露光動作を行う。一方、レチクルを交換する場合は、ステップ 2 0 2 に戻り、以降、上述したステップ 2 0 2 以下の処理を繰り返す。

【 0 1 4 2 】

この一方、ステップ 2 2 0 における判断が否定された場合には、本ルーチンの一連の処理を終了する。

【 0 1 4 3 】

これまでの説明から明らかなように、本実施形態では、主制御装置 5 0 、より具体的には C P U とソフトウェアプログラムとによって、計測制御装置、算出装置、物体位置設定機構、非常時警報装置が実現されている。すなわち、C P U が行う、ステップ 4 0 2 ~ 4 2 4 及びステップ 3 0 1 ~ 3 2 0 の処理によって計測制御装置が実現され、C P U が行う、ステップ 3 2 2 、4 2 6 の処理によって算出装置が実現されている。また、C P U が行う、ステップ 2 1 8 の処理によって物体位置設定機構が実現され、C P U が行う、ステップ 2 1 6 、2 2 4 、2 2 6 の処理によって非常時警報装置が実現されている。また、結像特性補正コントローラ 7 8 と、主制御装置 5 0 の C P U が行うステップ 2 1 8 の処理により補正装置が実現されている。

【 0 1 4 4 】

以上説明したように、本実施形態の露光装置 1 0 によると、計測制御装置としての主制御装置 5 0 は、図 8 のステップ 4 0 2 ~ 4 2 4 において、レチクルステージ R S T を走査方向に関して移動し、レチクル R 上の、マーク領域を含む領域を照明系 (1 2 , 1 4) からの照明光 I L で照明して、前記マーク領域内に存在するフォーカスマーク、像位置計測マークの空間像を投影光学系 P L を介して形成し、該空間像を空間像計測装置 5 9 を用い

10

20

30

40

50

て計測する。このような空間像の計測が、主制御装置 50 により、レチクルステージ RST を走査方向に関して移動しながら繰り返し行われる。そして、算出装置としての主制御装置 50 によって、図 8 のステップ 426 において、前記移動位置毎の前記マークの空間像の計測結果に基づいて、レチクル R に形成されたパターンの像が投影光学系 PL によって形成される走査像面が算出される。本実施形態の場合、レチクルのパターン面そのものではなく、上記の走査像面を検出するので、レチクル（マスク）位置計測用のセンサなどが不要である。従って、レチクル R と投影光学系 PL との間に、レチクル（マスク）位置計測用のセンサの設置スペースを確保する必要がなくなり、投影光学系 PL の設計自由度が増大し、高性能な投影光学系 PL が実現可能となる。結果的に、高性能な投影光学系 PL により、高精度なパターンの転写が実現される。

10

【0145】

なお、本実施形態の露光装置 10 のようなスキャナの場合には、レチクルステージ RST の位置に依存して生じる静的変形（レチクルステージ RST の走査方向位置変化に伴う Z 位置、傾きの変動であって、動的不変形ではなく、レチクルステージ RST の走査方向位置に応じて決まりかつ再現される静的な変形）も、実質的に走査像面の変形となる。本実施形態では、吸着面起因のみでなく、このようなレチクルステージ起因の走査像面の変形をも補正する。

【0146】

なお、上記実施形態では、説明の簡略化のため、基準像面に対する走査像面の補正、すなわち投影光学系 PL の光軸方向に関する結像特性の補正を行うものとし、そのような補正についてのみ説明したが、本発明がこれに限定されないことは勿論である。前述した如く、図 8 のステップ 420 において、フォーカス計測マーク M_{x1} 、 M_{y1} それぞれのベストフォーカス位置と同一の Z 位置における像位置計測マーク M_{x2} 、 M_{y2} の投影位置を、計測対象である m 番目のマーク領域内の像位置計測マーク M_{x2} 、 M_{y2} の投影位置として、メモリに記憶しているので、主制御装置 50 は、レチクル R が交換される度に、その直前のレチクル R について計測された対応するマーク領域内の対応するマーク同士の投影位置の差に基づいて、直前に露光に用いられたレチクルと露光に用いられるレチクルとの変形状態の差などに起因するディストーション誤差及びディストーション誤差分布を求め、これを補正するようにしても良い。

20

【0147】

この場合において、主制御装置 50 は、前述した結像特性補正コントローラ 78 を介して投影光学系 PL の一部の可動レンズを駆動することで、非スキャン方向（X 軸方向）に関するディストーション成分、並びに X 軸方向及び Y 軸方向の倍率成分を補正する。また、主制御装置 50 は、スキャン同期制御時の Y 軸方向に関するレチクルステージ RST とウエハステージ WST の相対速度の調整と、両ステージ間のヨーイングの相対角速度調整などにより、スキャン方向（Y 軸方向）に関するディストーション成分を補正する。

30

【0148】

なお、上記実施形態では、結像特性補正コントローラ 78 により、投影光学系 PL の一部の複数枚の可動レンズの Z 位置及び傾斜が調整される場合について説明したが、これに限らず、結像特性補正コントローラ 78 は、一部のレンズエレメント相互間に形成される気密室内部の気体の圧力を調整する、あるいは光源 14 から出力される照明光 IL の中心波長をシフトさせるようにしても良い。

40

【0149】

また、上記実施形態では、走査像面を基準像面に近づける補正に加え、その補正後の走査像面にウエハ W の表面を近づける補正を行う場合について説明したが、これに限らず、主制御装置 50 が、前述のステップ 212 の処理で計測した走査像面に、ウエハ W の表面を近づける補正、すなわちウエハ W のフォーカス・レベリング制御のみを行うようにしても良い。

【0150】

また、上記実施形態では、投影光学系の結像特性の較正（レンズキャリブレーション）

50

を、波面収差の計測結果に基づいて行う場合について説明したが、これに限らず、例えば特開 2002-198303 号公報及びこれに対応する米国特許出願公開第 2002/0041377 号明細書などに開示されるように、レチクルマーク板 R F M 上に複数種類の結像特性（収差）計測用のマークを形成しておき、これらのマークの空間像を空間像計測装置 59 を用いて、上記公報などに開示される手法でそれぞれ計測し、この計測結果に基づいて投影光学系の結像特性の較正（レンズキャリブレーション）を行うようにしても良い。あるいは、投影光学系の結像特性の較正は、テストレチクルを用いて、ウエハ上に焼き付けを行い、その焼付け結果に基づいて行っても良い。本国際出願で指定した指定国（又は選択した選択国）の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び米国特許出願公開明細書における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

10

【0151】

また、上記実施形態において、図 6 のステップ 210 において基準像面を計測したときに、その基準像面上での多点焦点位置検出系（60a, 60b）の各検出点での検出オフセットを求め、これらのオフセットを考慮して、前述のウエハ W のフォーカス・レベリング制御を行っても良いし、あるいは照射系 60a からの検出光の入射角、又は受光系 60b 内で再結像されるスリット像の位置をそのオフセットを相殺するようにずらしても良い。

【0152】

また、上記実施形態では、基準像面が、レチクルマーク板 R F M の基準面が投影光学系 P L によって投影される面である場合について説明したが、これに限らず、基準像面は、水平面であっても良い。かかる場合には、上述のステップ 210 は省略することができる。

20

【0153】

なお、レチクルとして前に使用されたことがあり走査像面の計測データが記憶されているレチクルが使用される場合で、且つその露光プロセスの必要精度があまり高くないような場合には、前述のステップ 212 の走査像面の計測工程を省略してスループットを高めるようにすることも可能である。

【0154】

また、上記実施形態において、評価マークや計測マークの空間像を計測してベストフォーカス位置を求める際に、複数の Z 位置での水平方向スリットスキャンを行う場合について説明したが、次のような Z スキャンによる空間像計測を行っても良い。

30

【0155】

すなわち、主制御装置 50 は、前述の水平スキャンによりそのフォーカス計測用マーク（孤立線）の投影位置を検出し、そのマークの投影像（空間像）の投影中心と、スリット板 90 のスリット 122x（又は 122y）の中心との X 位置（又は Y 位置）が一致するように Z チルトステージ 38 を X Y 面内で位置決めした状態で、照明系（12, 14）からの照明光 I L によりレチクルステージ R S T 上に載置されたレチクル R のマーク領域を照明しつつ、ステージ制御装置 70 及びウエハステージ駆動系 56 W を介して Z チルトステージ 38 を光軸 A X 方向（Z 軸方向）に所定移動範囲内で移動（Z スキャン）し、その Z スキャン中に多点焦点位置検出系（60a、60b）の出力に基づいて得られる Z チルトステージ 38 の Z 軸方向に関する位置データ及び信号処理装置 80 を介して入力される光センサ 124 の出力信号の強度データを所定のサンプリング間隔で取得する。このとき、主制御装置 50 では、前述した初期位置を移動中心として、多点焦点位置検出系（60a、60b）の出力をモニタしつつ、前記移動中心を中心とした所定幅の範囲内で移動する。

40

【0156】

そして、1 又は複数のスライスレベルを用いたスライス法により、投影光学系 P L のベストフォーカス位置を算出する。ここで、スライス法とは、Z スキャン中に得られるスリット透過光強度の変化曲線とスライスレベルとの 2 つの交点の midpoint を求め、その midpoint の Z 位置をベストフォーカス位置とする方法である。なお、例えば、複数のスライスレベルを

50

用いる場合には、スリット透過光強度の変化曲線と各スライスレベルとの各2つの交点間の中点（各2つの交点によって定まる線分の中点）を、それぞれ算出し、その複数の中点の平均値をベストフォーカス位置とすれば良い。なお、Zスキャンによりベストフォーカス位置を求める場合は、上述の移動中心の近傍で、センサゲインが適切に調整されていることが必要である。

【0157】

なお、上記実施形態では、走査像面を複数の2次関数を利用して表現し、その関数を用いて走査像面の形状を算出する場合について説明したが、本発明がこれに限定されないことは勿論である。例えば、図12に示されるように、走査像面を複数の1次関数を利用して表現し、その関数を用いて走査像面の形状を算出しても良い。

10

【0158】

図12では、Y軸方向に9組（対）の計測点（ L_1, R_1 ）～（ L_9, R_9 ）がある。これらのY座標をY1～Y9とする。第1組目のベストフォーカス位置の計測結果Z（ L_1 ）、Z（ R_1 ）を通る直線は $Z = a_1 \cdot X + b_1$ で表される。第2組目のベストフォーカス位置の計測結果Z（ L_2 ）、Z（ R_2 ）を通る直線は $Z = a_2 \cdot X + b_2$ で表される。このようにして9つの直線を計算する。その間の直線は、例えば $Z = a_1 \cdot X + b_1$ と $Z = a_2 \cdot X + b_2$ の間ではY座標に応じて係数 a_1 、 b_1 を補完すれば良い。

【0159】

すなわち、Y1とY2の間では直線は次式（3）のように表される。

【0160】

20

【数3】

$$Z(Y) = (a_1 \cdot \frac{Y - Y_2}{Y_1 - Y_2} + a_2 \cdot \frac{Y_1 - Y}{Y_1 - Y_2}) \cdot X + (b_1 \cdot \frac{Y - Y_2}{Y_1 - Y_2} + b_2 \cdot \frac{Y_1 - Y}{Y_1 - Y_2}) \quad \dots(3)$$

このようにY座標に応じて補完直線を計算することにより、走査像面全体の形状を関数で表すことができる。この方法は、レチクルRがねじれるような変形を起こしているときなどには、好適である。

【0161】

30

さらに、走査像面を複数の3次以上の高次の関数で表現する場合には、パターン領域PAの走査方向両側に位置するマーク領域のうちの、計測対象とするマーク領域の数（計測点数）を増加させれば良い。

【0162】

この他、走査像面を、所定個のパラメータを含む任意の関数 $z = f(X, Y)$ を想定し、上記各（X, Y）位置でのZ計測結果に基づいて、例えば最小自乗法などの統計的手法を用いて関数f中の上記各パラメータをフィッティングし、走査像面形状をこの関数fにより表わすことも可能である。

【0163】

例えば、レチクルパターン面内の吸着部分が、レチクル上のX軸方向の両端部に配置される場合には、レチクルパターン面自体が、レチクルのX軸方向の中心部に沿ってY軸方向の伸びる部分を鞍部とする鞍型形状に変形し易いため、関数fはこのような鞍型形状を表現し易い関数及びパラメータよりなるものとするのが望ましい。

40

【0164】

レチクルパターン面内の吸着部分が、他の形状を有する部分であっても、その吸着面形状に応じた変形の生じ易い形状を表現し易い関数及びパラメータよりなるものを使用することが好ましい。

【0165】

いずれにしても、走査像面の形状を決定するための関数は、例えば上記の吸着部分形状を想定して、FEM（Finite Element Method）シミュレーションにより求めた変形形状

50

を参考にして決定すると良い。あるいは、レチクル平坦度計測結果などを参考にして決定しても良い。

【0166】

なお、上記実施形態では、基準部材としてレチクルマーク板 R F M を用いる場合について説明したが、これに限らず、吸着面の平坦度が良好なテストレチクルを使用しても良い。かかる場合には、基準像面がそのテストレチクルのパターン面の走査像面となるので、吸着状態をも考慮したより適切な基準像面となる。

【0167】

なお、上記実施形態において、レチクル R 上の X 軸方向両端に形成されたマーク領域を使用して走査像面を計測する時には、可動レチクルブラインド 30 B の開口の非走査方向の幅が最大となるように各ブレードを全開にしてこれらのマーク領域に照明光を照射する。一方、ウエハへの回路パターンの露光時には可動レチクルブラインド 30 B の開口の非走査方向の幅が遮光帯の幅とほぼ一致するように各ブレードを閉め、マーク領域（計測マーク）への照明光の照射（ウエハへの誤転写）を防止する。

【0168】

なお、上記実施形態において、レチクル R 上の計測パターン（計測マーク）は、空間周波数変調型の位相シフトパターン（位相シフトレチクル）であっても良く、ハーフトーン型又はシフター遮光型の位相シフトパターンであっても良い。

【0169】

また、上記実施形態では、レチクル R のパターン面上の中心部に回路パターン領域 P A が存在し、その周囲にのみ、マーク領域が存在するものとしたが、例えば、レチクル上の回路パターンが複数チップに相当するパターンからなる場合には、各チップに相当する領域の境界部分に、回路パターン以外のパターンを配置することも可能となる場合がある。その場合には、上記境界部分にも前述と同様のマーク領域を配置し、当該マーク領域内の計測マークについてもその像位置（Z 位置）の計測を行なうとともに、この結果をも用いて走査像面の推定を行なうこととしても良い。かかる場合には、走査像面の推定の確度を一層向上することができる。

【0170】

なお、上記境界部分の幅が、前述したマーク領域の大きさ（ウエハ上で $60\ \mu\text{m}$ 角）より小さい場合には、当該境界部分に配置するマーク領域については、その形状を小型化しても良い。なお、小型化の一例として、図 10 に示されるマーク領域内の計測マークに代えて X 軸方向に長手方向を有するパターンのみを有するマーク、Y 軸方向に長手方向を有するパターンのみを有するマークのいずれか一方のみを使用することもできる。また、このようなマークが、ウエハ上に転写されても良い場合には、すなわち半導体集積回路上の一部に形成されても良い場合には、計測マークを回路パターン中に配置し、走査像面の推定にこのマークを使用することもできることは言うまでもない。

【0171】

なお、上記実施形態の露光装置における投影光学系の倍率は縮小系のみならず等倍および拡大系のいずれでも良いし、投影光学系 P L は屈折系のみならず、反射系及び反射屈折系のいずれでも良いし、その投影像は倒立像及び正立像のいずれでも良い。

【0172】

また、上記実施形態では、照明光 I L として K r F エキシマレーザ光や A r F エキシマレーザ光を用いる場合について説明したが、これに限らず、波長が $170\ \text{nm}$ 以下の光、例えば F_2 レーザ光（波長 $157\ \text{nm}$ ）、 Kr_2 レーザ光（波長 $146\ \text{nm}$ ）等の他の真空紫外光を用いても良い。

【0173】

また、例えば、真空紫外光として上記各光源から出力されるレーザ光に限らず、D F B 半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム（E r）（又はエルビウムとイッテルビウム（Y b）の両方）がドープされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した

10

20

30

40

50

高調波を用いても良い。

【0174】

また、上記実施形態では、露光装置の照明光 I L としては波長 100 nm 以上の光に限らず、波長 100 nm 未満の光を用いても良いことはいうまでもない。例えば、近年、70 nm 以下のパターンを露光するために、S O R やプラズマレーザを光源として、軟 X 線領域（例えば 5 ~ 15 nm の波長域）の E U V（Extreme Ultraviolet）光を発生させるとともに、その露光波長（例えば 13.5 nm）の下で設計されたオール反射縮小光学系、及び反射型マスクを用いた E U V 露光装置の開発が行われている。この装置においては、円弧照明を用いてマスクとウエハを同期走査してスキャン露光する構成が考えられるので、かかる装置にも本発明を好適に適用できる。さらに、例えば国際公開第 99/49504 号パンフレット及び国際公開第 2004/053955 号パンフレットなどに開示される、投影光学系 P L とウエハとの間に液体（例えば純水など）が満たされる液浸型露光装置にも本発明を適用することができる。この場合、投影光学系とウエハ（及び空間像計測装置のスリット板）の間に、水等の液体を満たす機能を装備する。液浸型の露光装置では、投影光学系の開口数 N A（= 結像光束の開き角の正弦 × 液体の屈折率）が 1 を超える場合があるため、必要に応じて、空間像計測装置についてもその一部を液体で満たす等により、1 以上の N A の光束を受光可能な構成とすることが望ましい。また、本発明を液浸型の露光装置に適用する場合、そのウエハ側ワーキングディスタンスが短く、斜入射方式の焦点位置検出系を配置できない場合も生じうる。この場合、焦点位置検出系として、静電容量センサや水圧感知式の位置センサを使用することもできる。

10

20

【0175】

なお、上記実施形態においては、空間像計測装置 59 の少なくとも一部は、ウエハ W を載置する Z チルトステージ 38 に設けられるものとしたが、空間像計測装置が配置される位置はこれに限られるものではない。

【0176】

例えば、ウエハ W を載置する Z チルトステージ 38 及びウエハステージ W S T とは別にウエハベース 16 上を X Y 方向に移動可能な計測用ステージを設け、この計測用ステージに、空間像計測装置の全部又は一部を設けることもできる。この場合には、空間像計測装置 59 を省くことによりウエハステージ W S T を小型、軽量化でき、ウエハステージ W S T の制御性を一層向上させることができるメリットがある。

30

【0177】

計測用ステージは、ウエハステージ W S T と同様にレーザ干渉計により位置計測され、その計測結果に基づいて X 軸方向、Y 軸方向に高精度に位置制御される。また、Z 軸方向についても多点焦点位置検出系（60a, 60b）の出力に基づいて高精度に位置制御される。従って、この場合においても、上記実施形態と同様に高精度に走査像面を計測可能であることに変わりはない。

【0178】

なお、複数のレンズから構成される照明光学系、投影光学系を露光装置本体に組み込み、光学調整をするとともに、多数の機械部品からなるレチクルステージやウエハステージを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、更に総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより、上記実施形態の露光装置を製造することができる。なお、露光装置の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

40

【0179】

なお、本発明は、半導体製造用の露光装置に限らず、液晶表示素子などを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられるデバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、及び撮像素子（CCD など）、マイクロマシン、有機 E L、DNA チップなどの製造に用いられる露光装置などにも適用することができる。また、半導体素子などのマイクロデバイスだけでなく、光露光装置、E U V 露光装置、X 線露光装置、及び電子線露光装置などで使用されるレチクル又はマスクを製造するために、ガラス基板又はシリコンウエ

50

ハなどに回路パターンを転写する露光装置にも本発明を適用できる。ここで、D U V（遠紫外）光やV U V（真空紫外）光などを用いる露光装置では一般的に透過型レチクルが用いられ、レチクル基板としては石英ガラス、フッ素がドーパされた石英ガラス、螢石、フッ化マグネシウム、又は水晶などが用いられる。また、プロキシミティ方式のX線露光装置、又は電子線露光装置などでは透過型マスク（ステンシルマスク、メンブレンマスク）が用いられ、マスク基板としてはシリコンウエハなどが用いられる。

【0180】

《デバイス製造方法》

図13には、デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造例のフローチャートが示されている。図13に示されるように、まず、ステップ501（設計ステップ）において、デバイスの機能・性能設計（例えば、半導体デバイスの回路設計等）を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップ502（マスク製作ステップ）において、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ503（ウエハ製造ステップ）において、シリコン等の材料を用いてウエハを製造する。

10

【0181】

次に、ステップ504（ウエハ処理ステップ）において、ステップ501～ステップ503で用意したマスクとウエハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術等によってウエハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップ505（デバイス組立てステップ）において、ステップ504で処理されたウエハを用いてデバイス組立てを行う。このステップ505には、ダイシング工程、ボンディング工程、及びパッケージング工程（チップ封入）等の工程が必要に応じて含まれる。

20

【0182】

最後に、ステップ506（検査ステップ）において、ステップ505で作成されたデバイスの動作確認テスト、耐久テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。

【0183】

図14には、半導体デバイスにおける、上記ステップ504の詳細なフロー例が示されている。図14において、ステップ511（酸化ステップ）においてはウエハの表面を酸化させる。ステップ512（CVDステップ）においてはウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ513（電極形成ステップ）においてはウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ514（イオン打ち込みステップ）においてはウエハにイオンを打ち込む。以上のステップ511～ステップ514それぞれは、ウエハ処理の各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

30

【0184】

ウエハプロセスの各段階において、上述の前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップ515（レジスト形成ステップ）において、ウエハに感光剤を塗布する。引き続き、ステップ516（露光ステップ）において、上で説明した露光装置及びその露光方法によってマスクの回路パターンをウエハに転写する。次に、ステップ517（現像ステップ）においては露光されたウエハを現像し、ステップ518（エッチングステップ）において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップ519（レジスト除去ステップ）において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。

40

【0185】

これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【0186】

以上説明した本実施形態のデバイス製造方法を用いれば、露光工程（ステップ516）において上記実施形態の露光装置及びその露光方法が用いられるので、ウエハ上にレチクルのパターンを高精度に転写することができ、結果的に高集積度のマイクロデバイスの生

50

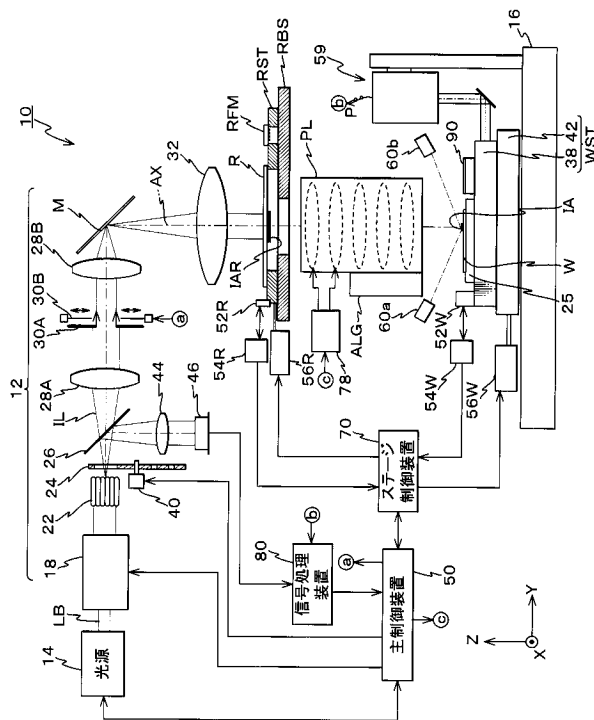
産性（歩留まりを含む）を向上させることが可能となる。

【産業上の利用可能性】

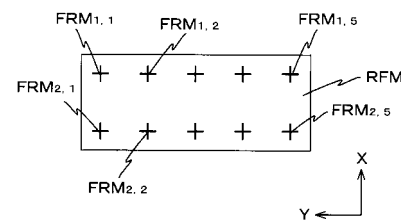
【0187】

本発明の像面計測方法は、所定の走査方向に移動可能なマスクステージ上に搭載されたマスクに形成されたパターンの像が投影光学系によって形成される走査像面を計測するのに適している。また、本発明の露光方法及び露光装置は物体上にパターンを転写するのに適している。また、本発明のデバイス製造方法は、マイクロデバイスの製造に適している。

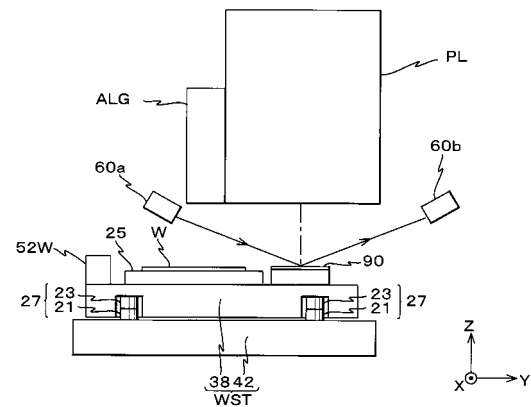
【図1】



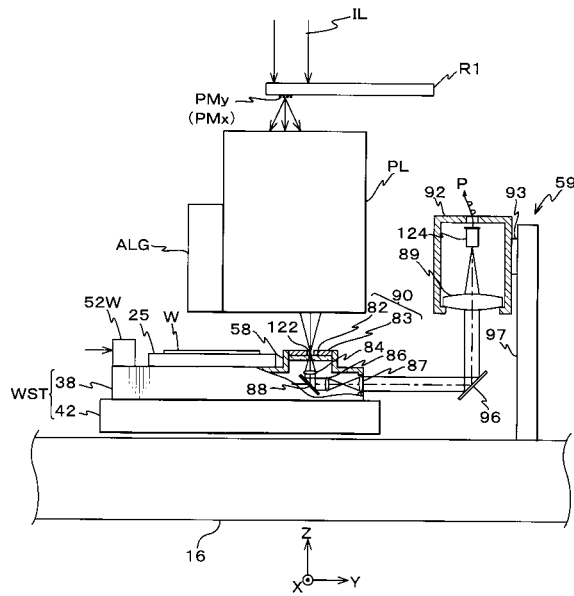
【図2】



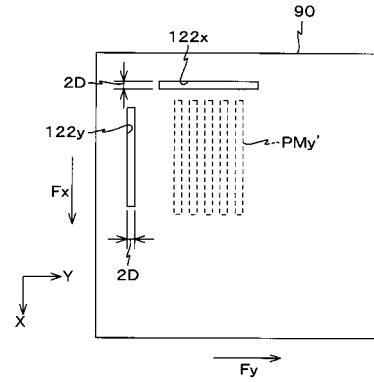
【図3】



【図 4】



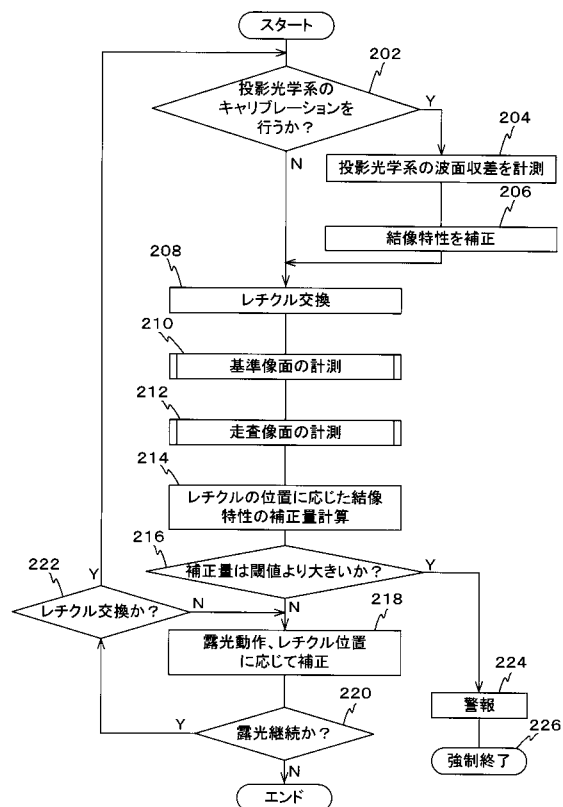
【図 5 (A)】



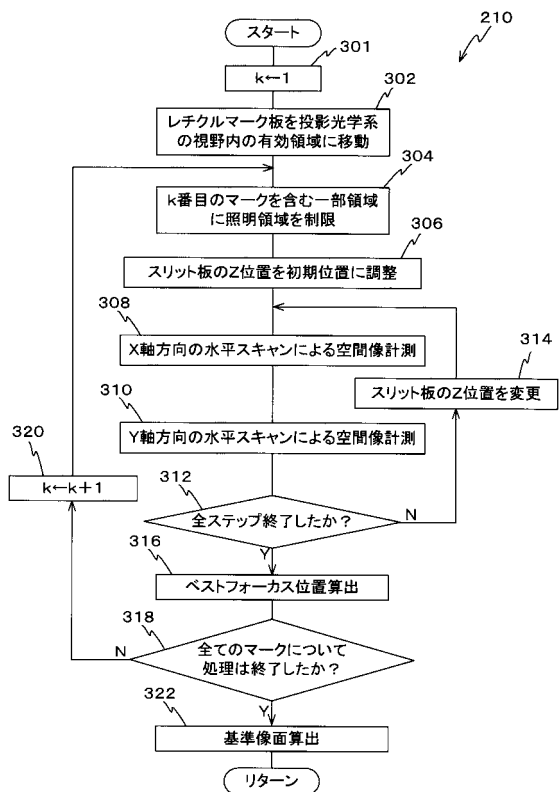
【図 5 (B)】



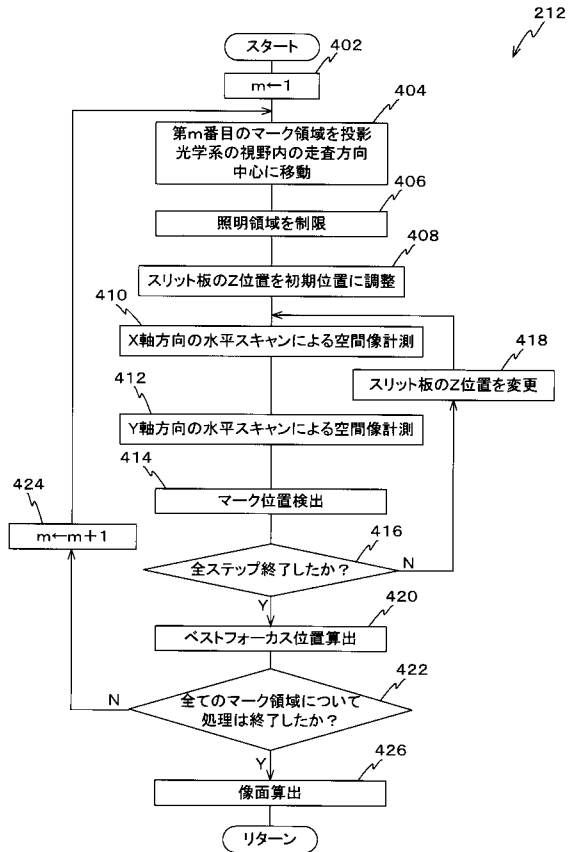
【図 6】



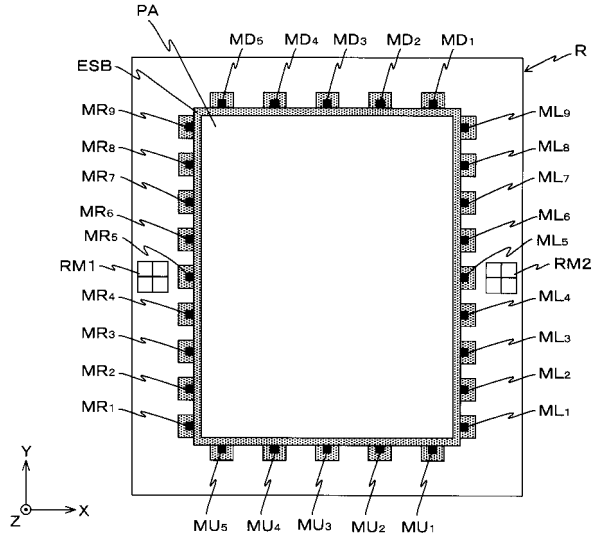
【図 7】



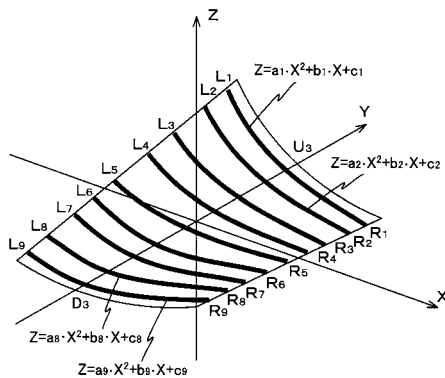
【図 8】



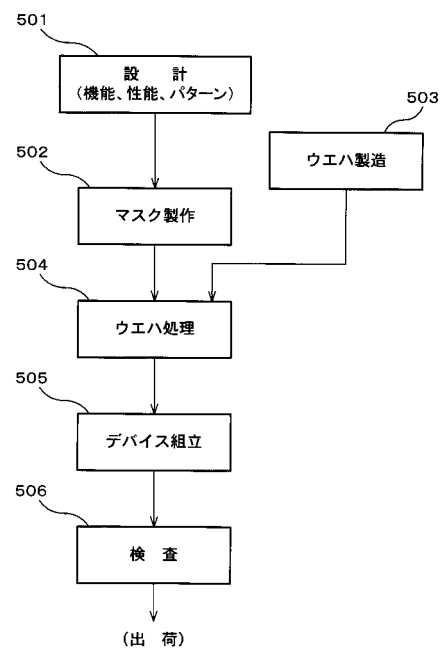
【図 9】



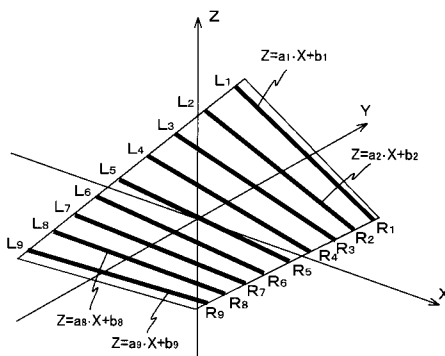
【図 1 1】



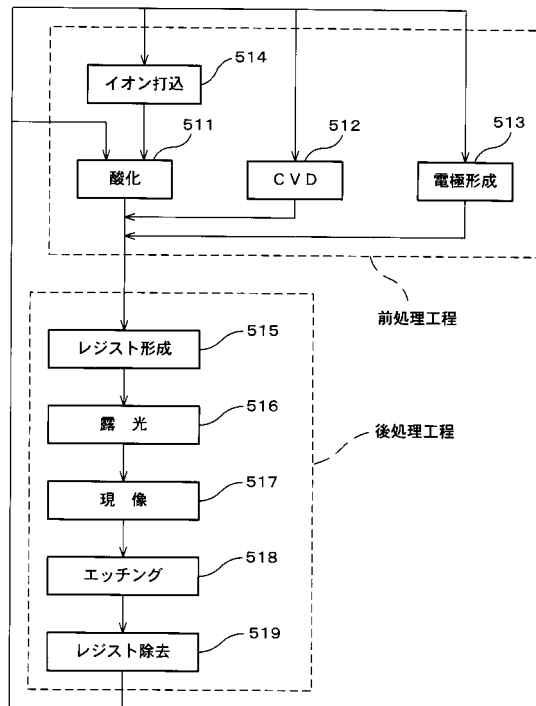
【図 1 3】



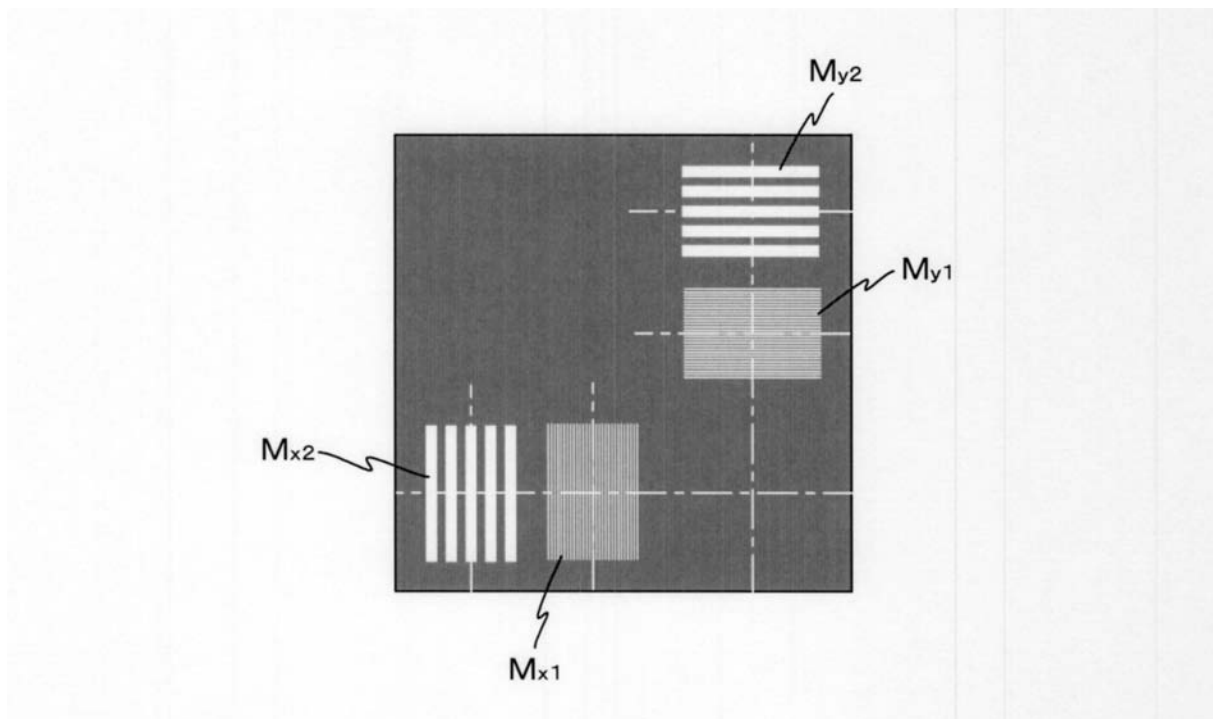
【図 1 2】



【図 14】



【図 10】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平 1 0 - 2 9 4 2 6 8 (J P , A)
特開 2 0 0 4 - 0 1 4 8 7 6 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 1 9 5 9 1 2 (J P , A)
国際公開第 2 0 0 4 / 0 5 9 7 1 0 (W O , A 1)
特開 2 0 0 1 - 1 4 3 9 9 3 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 0 3 5 7 8 2 (J P , A)
特開平 1 0 - 1 7 2 8 7 8 (J P , A)
特開平 0 9 - 1 1 5 8 2 0 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01L 21/027

G03F 7/20