

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7468630号
(P7468630)

(45)発行日 令和6年4月16日(2024.4.16)

(24)登録日 令和6年4月8日(2024.4.8)

(51)国際特許分類

G 0 1 B 11/00 (2006.01)
G 0 3 F 9/00 (2006.01)

F I

G 0 1 B 11/00
G 0 3 F 9/00C
H

請求項の数 17 (全24頁)

(21)出願番号 特願2022-514887(P2022-514887)
 (86)(22)出願日 令和2年4月13日(2020.4.13)
 (86)国際出願番号 PCT/JP2020/016332
 (87)国際公開番号 WO2021/210052
 (87)国際公開日 令和3年10月21日(2021.10.21)
 審査請求日 令和5年3月10日(2023.3.10)

(73)特許権者 000004112
 株式会社ニコン
 東京都港区港南二丁目15番3号
 (74)代理人 100161207
 弁理士 西澤 和純
 (74)代理人 100140774
 弁理士 大浪 一徳
 (74)代理人 100175824
 弁理士 小林 淳一
 (72)発明者 大橋 道雄
 東京都港区港南二丁目15番3号 株式
 会社ニコン内
 (72)発明者 高橋 聰
 東京都港区港南二丁目15番3号 株式
 会社ニコン内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 計測装置、露光装置、および計測方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

物体面に位置する被計測物に対して光を照射する照明系と、
 前記物体面と光学的に共役な共役面を形成する結像系と、
 前記被計測物からの複数の回折光のうちの少なくとも一部を制限し、且つ前記複数の回
 折光のうち第1回折光と前記第1回折光とは異なる第2回折光とを通過させる回折光制限
 部と、

前記共役面に配置され、前記第1回折光と前記第2回折光とによって形成される周期的
 な明暗パターンを撮像する撮像部と、

を備え、

前記照明系が前記被計測物に照射する前記光の、前記結像系に対するコヒーレンスファク
 タが、0以上、かつ1/3以下である、計測装置。

【請求項2】

請求項1に記載の計測装置において、
 前記照明系は、複数の波長の光を照射する、計測装置。

【請求項3】

物体面に位置する被計測物に対して複数の波長の光を照射する照明系と、
 前記物体面と光学的に共役な共役面を形成する結像系と、
 前記被計測物からの複数の回折光のうちの少なくとも一部を制限し、且つ前記複数の回
 折光のうち第1回折光と前記第1回折光とは異なる第2回折光とを通過させる回折光制限

部と、

前記共役面に配置され、前記第1回折光と前記第2回折光とによって形成される周期的な明暗パターンを撮像する撮像部と、
を備える、計測装置。

【請求項4】

請求項1から請求項3までのいずれか一項に記載の計測装置において、
前記回折光制限部は、前記被計測物からの複数の回折光の中から通過させる前記第1回折光および前記第2回折光を切り換える選択切換部を有する、計測装置。

【請求項5】

請求項1から請求項4までのいずれか一項に記載の計測装置において、
前記第1回折光は $+m$ 次(m は自然数)の回折光であり、
前記第2回折光は $-m$ 次の回折光である、計測装置。

【請求項6】

請求項1から請求項5までのいずれか一項に記載の計測装置において、
前記第1回折光と前記第2回折光とは、前記被計測物を計測する方向と直交する面に対して対称に射出される回折光である、計測装置。

【請求項7】

請求項1から請求項6までのいずれか一項に記載の計測装置において、
前記照明系は、前記被計測物に照射する前記光の、前記結像系に対するコヒーレンスファクタを変更する照明開口変更部を有する、計測装置。

10

【請求項8】

請求項1から請求項7までのいずれか一項に記載の計測装置において、
前記照明系は、前記光の前記被計測物に対する入射角度を変更する偏向部材を有する、
計測装置。

20

【請求項9】

請求項1から請求項8までのいずれか一項に記載の計測装置において、
前記結像系は、前記被計測物と前記共役面との間に中間結像面を有し、前記中間結像面に位置指標を有し、
前記撮像部は、前記明暗パターンとともに、前記共役面に形成された前記位置指標の像を撮像する、計測装置。

30

【請求項10】

請求項1から請求項9までのいずれか一項に記載の計測装置において、
基板表面に形成されている前記被計測物を検出するとともに、前記結像系および前記撮像部を複数有し、
複数の前記結像系のそれぞれにおける前記共役面に対する前記撮像部の相対位置が、前記共役面と交差する方向に異なっている、計測装置。

40

【請求項11】

物体面に位置する被計測物に対して複数の波長の光を照射する照明系と、
前記物体面と光学的に共役な共役面を形成する結像系と、
前記被計測物からの複数の回折光のうち、第1回折光と前記第1回折光とは異なる第2回折光とを通過させる回折光通過部と、
前記共役面に配置され、前記回折光通過部を通過した前記複数の波長の前記光によって形成される明暗パターンを撮像する撮像部と、
を備える、計測装置。

【請求項12】

請求項11に記載の計測装置において、
前記回折光通過部は、前記被計測物からの複数の回折光のうち少なくとも一部を制限する、計測装置。

【請求項13】

請求項11又は12に記載の計測装置において、

50

前記回折光通過部は、前記複数の波長のうち第1波長の光によって前記被計測物から発生する前記第1及び第2回折光を通過させ、且つ前記複数の波長のうち前記第1波長とは異なる第2波長の光によって前記被計測物から発生する前記第1及び第2回折光を通過させる、計測装置。

【請求項14】

請求項11から請求項13までのいずれか一項に記載の計測装置において、前記複数の波長の光のうち第1波長の光を照射する第1期間と、前記複数の波長の光のうち第2波長の光を照射する第2期間とが異なる、計測装置。

【請求項15】

請求項1から請求項14までのいずれか一項に記載の計測装置と、前記被計測物を含む物体に露光光を照射する露光光学系と、を備える、露光装置。

【請求項16】

請求項1から請求項14までのいずれか一項に記載の計測装置を用いて、周期構造を有するマークの位置を計測する、計測方法。

【請求項17】

請求項16に記載の計測方法において、前記マークとして、周期構造の周期の50%の凹部と50%の凸部から成るマークに比べて所定の次数の回折光の強度が増強されるマークを用いる、計測方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、計測装置、露光装置、および計測方法に関する。

【背景技術】

【0002】

感光性基板上に明暗パターンを露光する露光技術においては、明暗パターンの露光に先立って感光性基板上に予め形成されている既存パターンの位置を計測し、既存パターンに位置整合させて、感光性基板上に明暗パターンを露光する。既存パターンの位置の計測には、既存パターンの中のアライメントマークの像を位置計測光学系により撮像することにより、既存パターンの位置を計測する方法が用いられている（特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】米国特許第10120294号

【発明の概要】

【0004】

第1の態様によると、計測装置は、物体面に位置する被計測物に対して光を照射する照明系と、前記物体面と光学的に共役な共役面を形成する結像系と、前記被計測物からの複数の回折光のうちの少なくとも一部を制限し、且つ前記複数の回折光のうち第1回折光と前記第1回折光とは異なる第2回折光とを通過させる回折光制限部と、前記共役面に配置され、前記第1回折光と前記第2回折光とによって形成される周期的な明暗パターンを撮像する撮像部と、を備え、前記照明系が前記被計測物に照射する前記光の、前記結像系に対するコピーレンスファクタが、0以上、かつ1/3以下である。

第2の態様によると、計測装置は、物体面に位置する被計測物に対して複数の波長の光を照射する照明系と、前記物体面と光学的に共役な共役面を形成する結像系と、前記被計測物からの複数の回折光のうちの少なくとも一部を制限し、且つ前記複数の回折光のうち第1回折光と前記第1回折光とは異なる第2回折光とを通過させる回折光制限部と、前記共役面に配置され、前記第1回折光と前記第2回折光とによって形成される周期的な明暗パターンを撮像する撮像部と、を備える。

第3の態様によると、露光装置は、第1または第2の態様の計測装置と、前記被計測物

10

20

30

40

50

を含む物体に露光光を照射する露光光学系と、を備える。

第4の態様によると、露光装置は、第1または第2の態様の計測装置を用いて、周期構造を有するマークの位置を計測する。

【図面の簡単な説明】

【0005】

【図1】第1実施形態の計測装置の構成を概略的に示す図。

【図2】図2(a)および図2(b)は、第1実施形態の計測装置に適した位置計測マークの一例を示す図。図2(c)は、図2(a)のマークの、計測装置の撮像部の撮像面に形成される像を示す図。

【図3】第1実施形態の計測装置に適した位置計測マークの他の例を示す図。

【図4】図4(a)は、照明系内の照明開口変更部の一例を示す図。図4(b)は、回折光制限部の一例を示す図。

【図5】光源の一例を示す図。

【図6】図6(a)は、照明開口変更部に設けられた透過開口の大きさの一例を示す図。図6(b)は、回折光制限部に設けられた選択開口の大きさの一例を示す図。

【図7】図7(a)は、計測装置の変形例1の照明開口絞りの例を示す図。図7(b)は、計測装置の変形例1の回折光制限絞りの例を示す図。

【図8】計測装置の変形例2の構成の一部を概略的に示す図。

【図9】第2実施形態の露光装置の構成を概略的に示す図。

【図10】変形例にかかる位置計測マークの一例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0006】

本明細書において、「光学的に共役」とは、1つの面と他の1つの面とが光学系を介して結像関係になっていることをいう。

以下で参照する各図に矢印で示したX方向、Y方向およびZ方向はそれぞれ直交する方向であるとともに、X方向、Y方向およびZ方向のそれぞれは各図において同一の方向を示している。

以下では、各矢印の示す方向を、それぞれ+X方向、+Y方向および+Z方向と呼ぶ。

また、X方向の位置をX位置、Y方向の位置をY位置、Z方向の位置をZ位置と呼ぶ。

【0007】

(第1実施形態の計測装置)

図1は、第1実施形態の計測装置1の構成を概略的に示す図である。試料台70は、計測対象であるシリコンウエハ等の被計測物Wの+Z側の面である表面WSが、結像系10の物体面OPと概ね一致するように被計測物Wを載置する。試料台70は、ガイド71によりX方向およびY方向に移動可能に支持されており、被計測物WもX方向およびY方向に移動可能である、被計測物WのX位置、Y位置は、試料台70に設けられているスケール板72の位置を介してエンコーダ61により計測され、位置信号S2として制御部60に伝達される。

【0008】

結像系10は、対物レンズ11、第1リレーレンズ12、第2リレーレンズ13、第3リレーレンズ14を有し、物体面OPに対して光学的に共役な共役面CPを形成する。共役面CPには、CMOSイメージセンサ等の撮像部19が、その撮像面19sが共役面CPと一致するように配置されている。

被計測物Wの表面WSには、位置計測の対象となる計測マークWMが形成されており、結像系10は、計測マークWMを含む被計測物Wの像を撮像部19の撮像面19sに結像する。

【0009】

結像系10は、第1リレーレンズ12と第2リレーレンズ13との間、すなわち被計測物Wが配置される物体面OPと共役面CPの間にも、被計測物Wの中間像が形成される中間結像面MPを有している。中間結像面MPには、透明基板から成る指標板15が設けら

10

20

30

40

50

れており、指標板 15 の一部には位置指標 16 が設けられている。

【 0 0 1 0 】

位置指標 16 は、一例として長方形状の遮光膜が指標板 15 上に周期的に配置されたものである。結像系 10 の光路の中心に対して X 方向の両側には遮光膜が X 方向に周期的に配置された位置指標 16 が配置され、Y 方向の両側には遮光膜が Y 方向に周期的に配置された位置指標 16 が配置されている。

【 0 0 1 1 】

位置指標 16 は、結像系 10 内に設けられている不図示の指標照明系からの光で照明され、第 2 リレーレンズ 13 および第 3 リレーレンズ 14 により、位置指標 16 の像が共役面 CP に形成される。撮像部 19 は、共役面 CP に形成された計測マーク WM の像とともに、位置指標 16 の像も撮像する。

10

【 0 0 1 2 】

照明系 20 は、リレーレンズ 21、22、24、照明開口変更部 40、ミラー 23、分岐ミラー 25、および対物レンズ 11 を含み、光源部 50 から供給される照明光 IL を、物体面 OP に配置された、計測マーク WM を含む被計測物 W の表面 WS に照射する。このうち、対物レンズ 11 は、結像系 10 と照明系 20 との両方に含まれている。

【 0 0 1 3 】

光源部 50 から供給される照明光 IL は、照明系 20 を構成するリレーレンズ 21 を透過し、照明開口変更部 40 に含まれている照明開口絞り 41a により、その開口数が規定される。照明開口変更部 40 の詳細については後述する。

20

照明開口変更部 40 を通過した照明光 IL は、リレーレンズ 21、ミラー 23 およびリレーレンズ 24 を経た後、分岐ミラー 25 に至る。

【 0 0 1 4 】

分岐ミラー 25 は、一例として、その面内的一部において光を反射し、他の部分において光を透過するミラーであり、例えば透明板の一部に反射膜が形成されているミラーである。

リレーレンズ 24 を透過した照明光は、分岐ミラー 25 により反射され、対物レンズ 11 を透過して計測マーク WM を含む被計測物 W に照射される。

なお、図 1 においては、対物レンズ 11 等の各レンズは 1 枚のみのレンズから成るよう 30 に図示しているが、各レンズは複数のレンズから構成されてもよい。

30

【 0 0 1 5 】

図 2 (a) は、被計測物 W の表面 WS に形成されている、X 方向の位置の計測に適した計測マーク WM の一例を、+ Z 方向から見た図を示している。図 2 (b) は、図 2 (a) に示した計測マーク WM を - Y 方向から見た断面図を示している。

なお、Y 方向の位置の計測に適した計測マークの一例は、この計測マーク WM を XY 面内で 90° 回転させたものである。

【 0 0 1 6 】

計測マーク WM は、一例として被計測物 W の表面 WS に、段差を有する凹部 MB と凸部 MT とが、X 方向に交互に周期的に形成されているマークである。1 つの凹部 MB は、各辺が X 方向または Y 方向に平行であって Y 方向に長い長方形であり、複数の凹部 MB が、X 方向に周期 PX で周期的に形成されている。このため、計測マーク WM は、X 方向に周期構造を持った反射型の回折格子として機能する。なお、X 方向に周期的に配置される凹部 MB の個数は、2 個以上の任意の個数で良い。

40

【 0 0 1 7 】

図 2 (b) に示したように、計測マーク WM を含む被計測物 W の表面 WS は、フォトリスト等を含む、透光性または半透光性の膜 RS で覆われている。

凹部 MB および凸部 MT の X 方向の幅は、一例として 1 ~ 3 μm 程度であり、X 方向の配列の周期 PX は、一例として 2 ~ 4 μm 程度である。

【 0 0 1 8 】

計測マーク WM は、設計上は被計測物 W 上の所定の位置に形成されている。しかしながら

50

ら、半導体プロセス等により、シリコンウエハ等の被計測物Wは等方的あるいは非等方的な変形を受けるため、実際の計測マークWMの位置は、設計上の位置とは異なっている。

位置計測に際し、始めに制御部60は、エンコーダ61からの位置信号S2に基づいて制御信号S3を送信して試料台70を移動させ、計測マークWMの設計上の位置を、結像系10の計測基準位置に一致させる。

【0019】

これにより、照明光ILが被計測物Wに照射され、計測マークWMのX方向の周期構造により、図1に示したように、計測マークWMから+1次回折光Dp1、-1次回折光Dm1、+2次回折光Dp2、-2次回折光Dm2等の複数の回折光が発生する。発生した回折光は、対物レンズ11に入射し、分岐ミラー25に導かれる。

10

【0020】

そして、複数の回折光(Dm2、Dm1、Dp1、Dp2)は、分岐ミラー25を透過して、結像系10内のいわゆる瞳面またはその近傍に設けられている回折光制限絞り31aに至る。従って、物体面OPに配置されている計測マークWMから異なる回折角度で発生した異なる次数の回折光は、回折光制限絞り31aにおいてそれぞれ異なる位置に集光する。なお、図1に示した例では、計測マークWMから正反射光である0次回折光は、分岐ミラー25により遮光されるため、回折光制限絞り31aには到達しない。

【0021】

回折光制限絞り31aには、光を減衰させる減衰領域内の所定の次数の回折光が集光する位置に選択開口35aが設けられており、所定の次数の回折光を通過させ、他の次数の回折光を減衰する。ここで、他の次数の回折光は遮光されてもよい。また、選択開口35aの光通過率(光透過率)は100%でなくてもよい。選択開口35aの光通過率は減衰領域の光透過率より高ければよい。図1に示した状態においては、選択開口35aは、X方向への+1次回折光Dp1、および-1次回折光Dm1を選択的に通過させ、他の次数の回折光(+1次回折光Dp2および-2次回折光Dm2等)を遮光する。回折光制限絞り31aを含む回折光制限部30の詳細については後述する。

20

【0022】

回折光制限絞り31aにより選択的に通過された+1次回折光Dp1、および-1次回折光Dm1は、第1リレーレンズ12により集光され、中間結像面MPに配置されている指標板15の近傍に、干渉縞としての計測マークWMの中間像を形成する。そして、+1次回折光Dp1、および-1次回折光Dm1は、第2リレーレンズ13および第3リレーレンズ14により集光され、撮像部19の撮像面に、干渉縞としての計測マークWMの像を形成する。

30

【0023】

図2(c)は、撮像面19sに形成された計測マークWMの像IMの強度分布の一例を示す図である。図2(c)の示した強度分布のグラフの横軸は、撮像面19sにおけるX方向の位置を示し、縦軸は像IMの強度を示している。

また、計測マークWMの像IMの-X側および+X側には、指標板15上の位置指標16の像ILL、IRRの強度分布が示されている。

40

【0024】

図2(c)に示した計測マークWMの像IMは、図2(a)および図2(b)に示した計測マークWMに対して、結像系10の結像倍率(横倍率)だけX方向に拡大されたものである。ただし、以下では、理解を容易にするために、結像系10の横倍率が1倍であるものとして説明する。

なお、図2(c)のX方向のスケールは、図2(a)および図2(b)のX方向のスケールとは一致していない点に留意されたい。

【0025】

計測マークWMの像IMは、計測マークWMからの+1次回折光Dp1および-1次回折光Dm1が干渉することにより形成される干渉縞である。従って、X方向に周期的な明暗パターンが1周期以上に渡って形成されるとともに、そのX方向の明暗の周期は計測マ

50

ークWMのX方向の周期PXの1/2となる。尚、この明暗パターンを明暗像と称してもよい。

【0026】

撮像部19は、X方向に沿って計測マークWMの像IMの明暗の1周期以上の撮像範囲DAに渡って像IMを撮像し、撮像信号S1を制御部60に送信する。撮像範囲DAのX方向の範囲は、周期PXの1/2の整数倍、すなわち、 $n \times PX/2$ (n は自然数) であっても良い。

【0027】

撮像部19または制御部60は、撮像範囲DA内において、像IMの撮像信号S1をY方向に積算しても良い。また、後述するように、計測マークWM等のY方向の位置を計測する場合には、撮像部19または制御部60は、撮像範囲DA内において、像IMの撮像信号S1をX方向に積算しても良い。

【0028】

撮像範囲DAのX方向の幅およびY方向の幅は、撮像部19または制御部60により可変に設定できるものであっても良い。撮像範囲DAのX方向の幅およびY方向の幅を変更することにより、種々の形状の計測マークWM、WMa、WMbの計測が可能になるとともに、計測マークWM、WMa、WMbの周囲に配置されている回路パターン等による悪影響を低減することができる。

【0029】

撮像部19は、同様に、位置指標16の像ILL、IRRについても撮像し、撮像信号S1を制御部60に送信する。

制御部60は、送信された撮像信号S1に基づいて、計測マークWMの実際の位置を計測する。

【0030】

上述したように、計測に際して計測マークWMは、その設計上の位置が結像系10の計測基準位置と一致するように配置されている。従って、計測マークWMの結像系10の計測基準位置からの位置ずれ量を計測し、計測マークWMの設計上の位置に、その位置ずれ量を加算することにより、計測マークWMの実際の位置を計測することができる。

【0031】

結像系10の計測基準位置とは、例えば、計測基準位置に配置された計測マークWM等の像が、撮像面19sにおいて、2つの位置指標16の像ILL、IRRの中間に形成される位置である。

制御部60は、2つの位置指標16の像ILL、IRRの例えば明暗変化のX方向の位相に基づいて、像ILL、IRRのX方向の位置をそれぞれ決定し、それらの中間位置である結像系10のX方向の計測基準位置を決定する。

【0032】

制御部60は、計測マークWMの像IMの例えば明暗変化のX方向の位相に基づいて、像IMのX方向の位置を決定し、上述の結像系10のX方向の計測基準位置からの位置ずれ量を算出する。そして、既知である計測マークWMの設計上のX位置に、その位置ずれ量を加算することにより、計測マークWMの実際のX位置を算出(計測)する。

【0033】

以上においては、計測マークWMのX位置の計測について説明したが、Y位置の計測についても同様に行うことができる。Y位置の計測に際しては、上述したように被計測物W上の、図2(a)に示した計測マークWMがXY面内で90°回転された計測マークWMを計測する。この場合、撮像面19sにはY方向に沿って周期的に明暗変化する像が形成され、制御部60は、その像と位置指標16の像との位置関係、および計測マークWMの設計上のY位置に基づいて、計測マークWMの実際のY位置を算出(計測)する。

【0034】

なお、以上においては、計測マークWMの位置計測に際し、計測マークWMの設計上の位置を結像系10の計測基準位置に一致させて計測を行うとしたが、計測マークWMの設

10

20

30

40

50

計上の位置を、結像系 1 0 の計測基準位置に完全には一致させなくても良い。この場合、制御部 6 0 は、計測時における計測マーク WM の設計上の位置の結像系 1 0 の計測基準位置からの位置ずれ量を、エンコーダ 6 1 からの位置信号 S 2 により計測し、その位置ずれ量をさらに加算して計測マーク WM の実際の位置を算出（計測）すれば良い。

【 0 0 3 5 】

図 3 は、計測マーク WM の他の例を示す図である。

図 3 (a) に示した計測マーク WM a は、図 2 (a) に示した計測マーク WM に対し、X 方向の中心近傍の数本の凹部 MB を X Y 面内で 90° 回転したものに相当している。計測マーク WM a のうちの - X 側端部 LX および + X 側端部 RX は、X 方向の位置計測に適した X 方向に延びる凹部 MB a および凸部 MT a を有している。一方、計測マーク WM a のうちの X 方向の中央部 CY は、Y 方向の位置計測に適した Y 方向に延びる凹部 MB b および凸部 MT b を有している。

【 0 0 3 6 】

従って、計測装置 1 は、計測マーク WM a の X 方向の位置の計測、および Y 方向の位置の計測を、共に行うことができる。

なお、中央部 CY の凹部 MB b および凸部 MT b の Y 方向の配置の周期 PY は、- X 側端部 LX および + X 側端部 RX の凹部 MB a および凸部 MT a の X 方向の配置の周期 PX と同一であっても良く、あるいは異なっていても良い。

中央部 CY に含まれる凹部 MB a の個数、- X 側端部 LX および + X 側端部 RX に含まれる凹部 MB の個数は、それぞれ 2 個以上の任意の個数で良い。

【 0 0 3 7 】

図 3 (b) に示した計測マーク WM b は、2 次元の格子状に形成された凹部 MB c とそれに囲まれた凸部 MT c を含むマークである。凹部 MB c が形成する 2 次元の格子は X 方向の周期性と Y 方向の周期性とを共に含むため、計測装置 1 は、計測マーク WM b の X 方向の位置の計測、および Y 方向の位置の計測を、共に行うことができる。

【 0 0 3 8 】

なお、上述の各計測マーク WM 、 WM a 、 WM b において、1 つの凹部 MB 、 MB a 、 MB b が、例えば被計測方向に細分化されていても良い。

図 3 (c) は、細分化された 1 つの凹部 MB の一例を示す図である。図 3 (c) に示した 1 つの凹部 MB は、その内部が X 方向に細分化された複数の微小凹部 MBSB と複数の微小凸部 MBST とで構成されている。

【 0 0 3 9 】

Y 方向の計測に適した凹部 MB a を細分化する場合には、その内部は Y 方向に細分化されれば良い。

X 方向、Y 方向の両方に計測に適した凹部 MB b を細分化する場合には、その内部は X 方向に細分化されても良く、Y 方向に細分化されても良く、あるいは X 方向および Y 方向に 2 次元的に細分化されても良い。

これらの場合、1 つの微小凹部 MBSB の X 方向（または Y 方向）の幅は例えば、0.05 ~ 0.3 μm 程度であり、1 つの凹部 MB を構成する複数の微小凹部 MBB の X 方向（または Y 方向）の配列の周期は 0.1 ~ 0.5 μm 程度である。

【 0 0 4 0 】

なお、1 つの凹部 MB ではなく、1 つの凸部 MT 、 MT a 、 MT b が上述のように細分化されているマークであっても良い。

なお、計測マーク WM 、 WM a 、 WM b は、上述の段差を有する形状に限られるわけではなく、凹部 MB 、 MB a 、 MB b と凸部 MT 、 MT a 、 MT b との振幅反射率に違いがあるマークであれば良い。

【 0 0 4 1 】

第 1 実施形態の計測装置 1 においては、以上で説明したような種々の計測マーク WM 、 WM a 、 WM b (以下では総称して単に「計測マーク WM 」とも呼ぶ) の位置の計測に際し、それぞれの計測に適した回折光による像を撮像して位置計測を行う。

10

20

30

40

50

このために、第1実施形態の計測装置1は、計測マークWMから発生する複数の回折光のうちの少なくとも一部を減衰し、第1回折光（例えば+1次回折光Dp1）と第1回折光とは異なる第2回折光（例えば-1次回折光Dm1）とを通過させる、回折光制限部30を備えている。

【0042】

以下、図1および図4を参照して、回折光制限部30および照明系20に含まれる照明開口変更部40について説明する。

図4(b)は、回折光制限部30を+Z方向から見た図である。図1および図4(b)に示したように、回折光制限部30は、回折光制限絞り31a～31d、結像絞り保持部32、および選択切換部33を有している。結像絞り保持部32は、選択切換部33により回転中心CL2を中心として回動可能に保持されている。

10

【0043】

結像絞り保持部32は、一例として4個の回折光制限絞り31a～31dを保持し、それらの1つを結像系10の結像光路10P内に挿入する。

回折光制限絞り31a～31dには、それぞれ異なる形状を有する選択開口35a～35dが形成されている。回折光制限部30は、回折光制限絞り31a～31dのいずれかを結像光路10P内に挿入することにより、選択開口35a～35dを通過する回折光を選択することができる。

20

【0044】

図4(a)は、照明開口変更部40を+Z方向から見た図である。図1および図4(a)に示したように、照明開口変更部40は、照明開口絞り41a～41d、照明絞り保持部42、および照明切換部43を有している。照明絞り保持部42は、照明切換部43により回転中心CL1を中心として回動可能に保持されている。

【0045】

照明絞り保持部42は、一例として4個の照明開口絞り41a～41dを保持し、それらの1つを照明系20の照明光路20P内に挿入する。

照明開口絞り41a～41dには、それぞれ異なる形状を有する透過開口45a～45dが設けられている。照明開口変更部40は、照明開口絞り41a～41dのいずれかを照明光路20P内に挿入することにより、透過開口45a～45dを通過して被計測物Wに照射される照明光の開口数等の照明条件を選択することができる。

30

【0046】

なお、照明光の開口数とは、被計測物Wに照射される照明光の入射角度範囲の半角の正弦(sin)である。照明光の開口数を、対物レンズ11の開口数(NA)で割った値が、一般的にコヒーレンスファクタと呼ばれる値である。

【0047】

なお、照明開口絞り41a～41dは、物体面OPに対して、レンズ22、24、および対物レンズ11等による、いわゆる瞳面またはその近傍に配置されている。従って、照明開口絞り41a～41dの中のそれぞれの透過開口45a～45dを透過した照明光は、透過開口45a～45dの位置に応じた入射角度で物体面OPに配置されている計測マークWMに入射する。

40

【0048】

また、上述したとおり回折光制限絞り31a～31dは、結像系10内のいわゆる瞳面またはその近傍に設けられている。従って、照明光路20Pに挿入された照明開口絞り41a～41dと結像光路10Pに挿入された回折光制限絞り31a～31dとは、レンズ22、24、対物レンズ11、および物体面OPに配置された反射面としての被計測物Wを介して結像関係になっている。

【0049】

なお、回折光制限絞り31a～31dと照明開口絞り41a～41dとのX方向およびY方向の位置関係は、照明系20の中のレンズ22、24の結像作用により反転している。そこで、回折光制限絞り31a～31dと照明開口絞り41a～41dとの結像関係が

50

理解し易いように、図4(a)のX方向およびY方向を、図(b)に対して反転して(すなわち180°回転して)表示している。

【0050】

例えば、図2(a)に示したX方向に周期性を有する計測マークWMを計測する場合、照明開口変更部40は、照明開口絞り41aを照明光路20Pに挿入し、回折光制限部30は回折光制限絞り31aを結像光路10P内に挿入する。この状態は図4(a)および図4(b)に示されている状態であり、照明開口絞り41aの中心41acが照明光路20Pの中心と一致するように配置され、回折光制限絞り31aの中心31acが結像光路10Pの中心と一致するように配置されている。

【0051】

照明開口絞り41aに設けられている透過開口45aは、X方向の幅が狭く、Y方向の幅がX方向の幅よりも広い。従って、計測マークWMに照射される照明光ILは、X方向には狭い入射角度度範囲で、Y方向には広い入射角度度範囲で入射される。

透過開口45aを透過した照明光ILの計測マークWMへのX方向の入射角度の範囲は、一例として、上述のコヒーレンスファクタとして0以上、かつ1/3以下である。

【0052】

照明光ILの照射により、計測マークWMからは、図1に示したように、複数の回折光(Dm2、Dm1、Dp1、Dp2)が発生する。回折光制限部30の回折光制限絞り31aの選択開口35aは、そのうち+1次回折光Dp1と-1次回折光Dm1を通過させ、それ以外の回折光(Dm2、Dp2等)を遮光する。従って、撮像部19の撮像面19sには、計測マークWMのX方向の検出に適した+1次回折光Dp1と-1次回折光Dm1のみが到達し、計測マークWMの像IMを形成する。

【0053】

なお、2つの選択開口35aの回折光制限絞り31aの中心31acからのX方向の距離は、選択開口35aが計測マークWMからの+1次回折光Dp1および-1次回折光Dm1を通過させる位置となるように設定しておく。また、2つの選択開口35aのそれぞれのX方向の幅は、計測マークWMからの+1次回折光Dp1および-1次回折光Dm1が通過可能な幅に設定しておく。

【0054】

選択開口35aの回折光制限絞り31aの中心31acからの位置および幅についての上記の関係は、他の選択開口35b~35dの回折光制限絞り31b~31dの中心31bc~31dcからの距離および幅についても同様である。

【0055】

また、照明開口絞り41aの透過開口45aのX方向の幅に応じて、各次数の回折光は回折光制限絞り31aにおいてX方向に広がって分布する。従って、照明開口絞り41aの透過開口45aのX方向の幅は、回折光制限絞り31aにおいて+1次回折光Dp1および-1次回折光Dm1を他の次数の回折光から分離できる程度の幅に設定すると良い。

【0056】

なお、従来の計測装置では、+1次回折光Dp1と-1次回折光Dm1のみでなく、他の次数の回折光も含む像に基づいて計測マークの位置を計測している。そして各次数の回折光は結像系内の異なる位置を通るため、それぞれ異なる量の波面収差を結像系から受けすることになる。この場合、例えば計測マークWMの形状が変動し、それにより各次数の回折光の強度の比が変動すると、結像系の波面収差の影響により計測マークWMの像IMが変形または変位し、位置計測結果に誤差が生じてしまう。

【0057】

第1実施形態の計測装置1では、回折光制限絞り31aにより複数の回折光のうち第1回折光(+1次回折光Dp1等)と第2回折光(-1次回折光Dm1等)とを選択的に通過させて計測マークWMの像IMを形成するため、結像系10の波面収差の影響を受けにくく、高精度な位置計測を行うことができる。

【0058】

10

20

30

40

50

また、計測マークWMの像IMが第1回折光と第2回折光とにより形成されるため、計測マークWMのZ方向の位置の変動（デフォーカス）が生じても像IMのコントラストが低下しにくく、深い焦点深度で計測することができる。

【0059】

なお、図2(a)に示した計測マークWMをXY面内で90°回転させた、Y方向の計測に適した計測マークWMを計測する場合には、照明開口絞り41cをその中心41ccが照明光路20Pの中心と一致するように照明光路20Pに挿入する。そして、回折光制限絞り31cをその中心31ccが結像光路10Pの中心と一致するように結像光路10Pに挿入する。

【0060】

照明開口絞り41cには、上述の照明開口絞り41aに設けられている透過開口45aをXY面内で90°回転した形状の透過開口45cが設けられている。また、回折光制限絞り31cには、上述の回折光制限絞り31aに設けられている選択開口35aをXY面内で90°回転した形状の選択開口35cが設けられている。

【0061】

よって、回折光制限絞り31cの選択開口35cは、Y方向の計測に適した計測マークWMからの+1次回折光Dp1と-1次回折光Dm1を通過させ、それ以外の回折光(Dm2、Dp2等)を遮光する。従って、撮像部19の撮像面19sには、計測マークWMのY方向の検出に適した+1次回折光Dp1と-1次回折光Dm1のみが到達し、計測マークWMの像IMを形成することになる。

【0062】

上記においては、X方向の計測に際してはY方向の幅が広い透過開口45aを有する照明開口絞り41aを使用し、Y方向の計測に際してはX方向の幅が広い透過開口45cを有する照明開口絞り41cを使用している。

ただし、X方向の計測およびY方向の計測のいずれにおいても、照明開口絞り41aおよび照明開口絞り41cに代えて、X方向の幅およびY方向の幅が共に狭い、後述する透過開口45bを有する照明開口絞り41bを使用しても良い。

【0063】

なお、上記のように照明開口絞り41aまたは照明開口絞り41cを使用することにより、照明光ILの光量を増大させることができ、像IMのS/Nが改善され、計測精度の向上が期待できる。

【0064】

図3(a)に示した計測マークWMaを計測する場合には、上述したX方向の計測とY方向の計測とを順次行っても良い。あるいは、照明開口絞り41bをその中心41bcが照明光路20Pの中心と一致するように照明光路20Pに挿入し、回折光制限絞り31bをその中心31bcが結像光路10Pの中心と一致するように結像光路10Pに挿入した状態で、X方向とY方向の計測とを同時に行っても良い。

【0065】

照明開口絞り41bの中心41bcの近傍には、X方向およびY方向の幅がいずれも狭い透過開口45bが設けられている。従って、計測マークWMaに照射される照明光ILは、X方向およびY方向に狭い入射角度範囲で入射される。

透過開口45bを透過した照明光ILの計測マークWMへのX方向およびY方向の入射角度の範囲は、一例として、上述のコヒーレンスファクタとして0以上、かつ1/3以下である。

【0066】

回折光制限絞り31bには、その中心31bcから±X方向、および±Y方向に離れた位置に選択開口35bが設けられている。

この選択開口35bのうち、中心31bcから±X方向に離れた部分は、照明光ILの照射により計測マークWMaの-X側端部LXおよび+X側端部RXから発生する±X方向への+1次回折光Dp1と-1次回折光Dm1を通過させる。そして選択開口35bの

10

20

30

40

50

うち、中心 3 1 b c から \pm Y 方向に離れた部分は、照明光 I L の照射により計測マーク W M a の中央部 C Y から発生する \pm Y 方向への + 1 次回折光 D p 1 と - 1 次回折光 D m 1 を通過させる。

【 0 0 6 7 】

計測マーク W M a から発生する回折光のうち、これらの回折光以外は、回折光制限絞り 3 1 b により遮光される。

従って、照明開口絞り 4 1 b および回折光制限絞り 3 1 b を用いることにより、図 3 (a) に示した計測マーク W M a の X 方向および Y 方向の位置を高精度に計測することができる。

【 0 0 6 8 】

なお、図 3 (a) に示した計測マーク W M a の X 方向および Y 方向を同時に計測する場合、照明開口絞り 4 1 d と回折光制限絞り 3 1 d とを用いて計測を行っても良い。すなわち、照明開口絞り 4 1 d をその中心 4 1 d c が照明光路 2 0 P の中心と一致するように照明光路 2 0 P に挿入し、回折光制限絞り 3 1 d をその中心 3 1 d c が結像光路 1 0 P の中心と一致するように結像光路 1 0 P に挿入した状態で、計測を行っても良い。

【 0 0 6 9 】

この場合について、始めに、照明開口絞り 4 1 d に形成されている十字状の透過開口 4 5 d のうち、 \pm Y 方向の端部の近傍を透過した照明光 I L について説明する。この照明光 I L が計測マーク W M a の - X 側端部 L X および + X 側端部 R X に照射されることにより生じる X 方向への + 1 次回折光 D p 1 と - 1 次回折光 D m 1 は、回折光制限絞り 3 1 d に設けられた 4 つの選択開口 3 5 d のいずれかを通過する。そして、X 方向への他の次数の回折光、および計測マーク W M a の中央部 C Y に照射された光により生じる Y 方向への回折光は、回折光制限絞り 3 1 d により遮光される。

【 0 0 7 0 】

次に、照明開口絞り 4 1 d に形成されている十字状の透過開口 4 5 d のうち、 \pm X 方向の端部の近傍を透過した照明光 I L について説明する。この照明光 I L が計測マーク W M a の中央部 C Y に照射されることにより生じる Y 方向への + 1 次回折光 D p 1 と - 1 次回折光 D m 1 は、回折光制限絞り 3 1 d に設けられた 4 つの選択開口 3 5 d のいずれかを通過する。そして、Y 方向への他の次数の回折光、および計測マーク W M a の - X 側端部 L X および + X 側端部 R X に照射された光により生じる Y 方向への回折光は、回折光制限絞り 3 1 d により遮光される。

【 0 0 7 1 】

従って、照明開口絞り 4 1 d と回折光制限絞り 3 1 d とを用いても、図 3 (a) に示した計測マーク W M a の X 方向および Y 方向の位置を高精度に計測することができる。

【 0 0 7 2 】

図 3 (b) に示した計測マーク W M b についても、上記と同様に、照明開口絞り 4 1 b および回折光制限絞り 3 1 b を用いて、または照明開口絞り 4 1 d と回折光制限絞り 3 1 d を用いて、X 方向および Y 方向の位置を高精度に計測することができる。

なお、図 3 (b) に示した計測マーク W M b についても、上述した X 方向の計測と Y 方向の計測とを順次行っても良い。

【 0 0 7 3 】

なお、以上においては、回折光制限絞り 3 1 a ~ 3 1 d は、計測マークからの + 1 次回折光 D p 1 と - 1 次回折光 D m 1 とを選択的に通過させ、他の次数の回折光は遮光するものとしている。ただし、回折光制限絞り 3 1 a ~ 3 1 d が選択的に通過させる回折光は、例えば + 2 次回折光 D p 2 と - 2 次回折光 D m 2 や + 3 次回折光と - 3 次回折光 (不図示) であっても良い。

【 0 0 7 4 】

また、複数の回折光制限絞り 3 1 a ~ 3 1 d の中には、+ 1 次回折光 D p 1 と - 1 次回折光 D m 1 とを選択的に通過させる絞りと、+ 2 次回折光 D p 2 と - 2 次回折光 D m 2 とを選択的に通過させる絞りとが設けられており、これらを選択切換部 3 3 により切換えて

10

20

30

40

50

結像光路 10 P に挿入可能としても良い。

【 0 0 7 5 】

また、回折光制限絞り 31 a ~ 31 d が通過させる 2 つの回折光は、自然数 m に対して $+m$ 次回折光と $-m$ 次回折光のように次数の絶対値が等しい回折光のペアに限られるわけではなく、例えば +1 次回折光 D p 1 と -2 次回折光 D m 2 のように次数の絶対値が異なる回折光のペアであっても良い。また、そのうちの一方は 0 次回折光（正反射光）であっても良い。

【 0 0 7 6 】

被計測物 W が Z 方向に上下しても計測マーク WM の位置計測結果が変動しないという、いわゆるテレセン性の観点からは、回折光制限絞り 31 a ~ 31 d は計測方向と直交する面に対して対称に射出される 2 つの回折光を通過させてもよい。言い換えると、回折光制限絞り 31 a ~ 31 d は、それぞれの中心を通過し且つ計測方向と直交する軸に関して、それぞれの選択開口が線対称に設けられてもよい。

従って、照明光 IL が被計測物 W に対して概ね垂直に入射される限りにおいては、いわゆるテレセン性の観点で、次数の絶対値が等しい回折光のペアを通過させ、撮像部 19 に結像させてもよい。

【 0 0 7 7 】

一方、照明光 IL が被計測物 W に対して垂直方向から所定の角度、例えば -1 次回折光の回折角度の半分に相当する角度だけ傾けて入射される場合には、例えば、0 次回折光（正反射光）と +1 次回折光を選択的に通過させることが、テレセン性の観点では好ましい。

なお、上述の照明開口変更部 40 に含まれる照明切換部 43 は、照明絞り保持部 42 および照明開口絞り 41 a ~ 41 d の全体を X 方向および Y 方向に位置シフトすることにより、照明光 IL の被計測物 W への入射角度を変更することが可能であっても良い。

【 0 0 7 8 】

図 5 は、計測装置 1 の光源部 50 の構成の一例を示す図である。一例の光源部 50 は、第 1 波長の第 1 光 La を発する第 1 発光部 51 a と、第 2 波長の第 2 光 Lb を発する第 2 発光部 51 b とを有している。第 1 発光部 51 a および第 2 発光部 51 b は、レーザや LED 等の自ら光を発する部材であっても良く、光ファイバーの射出端の外部から導入された光を射出する部材であっても良い。例えば、第 1 発光部 51 a をレーザとし、第 2 発光部 51 b を LED としても良い。

【 0 0 7 9 】

第 1 光 La と第 2 光 Lb とは、偏光ビームスプリッタ 52 により混合および分離される。第 1 光 La のうちの S 偏光成分は偏光ビームスプリッタ 52 により反射され、また第 2 光 Lb のうちの P 偏光成分は偏光ビームスプリッタ 52 を透過して、照明光 L1 となる。第 1 光 La のうちの P 偏光成分は偏光ビームスプリッタ 52 を透過して、また第 2 光 Lb のうちの S 偏光成分は偏光ビームスプリッタ 52 により反射され、照明光 L2 となる。

【 0 0 8 0 】

照明光 L1 は、ミラー 53 により反射され、位相変調素子 54 a に入射する。照明光 L2 は、そのまま位相変調素子 54 b に入射する。

位相変調素子 54 a、54 b は、例えば液晶素子であって、電圧制御部 55 a、55 b から印加される電圧に応じて、いわゆる波長板として機能する素子である。すなわち、電圧制御部 55 a、55 b から第 1 の電圧が印加されると 0 波長板（平板）として機能し、第 2 の電圧が印加されると 1/2 波長板として機能する。

【 0 0 8 1 】

照明光 L1 および L2 は、それぞれ位相変調素子 54 a、54 b により、その偏光状態が制御され、照明光 L3 および L4 に変換される。

位相変調素子 54 a を通過した照明光 L3 は、偏光型のビームスプリッタ 57 に入射する。位相変調素子 54 b を通過した照明光 L4 は、ミラー 56 により反射されビームスプリッタ 57 に入射する。そして、照明光 L3、L4 は、ビームスプリッタ 57 により合成されて、照明光 L5 として光源部 50 から射出される。

10

20

30

40

50

【0082】

上述の一例の光源部50においては、複数の異なる波長の光を、同時に、あるいは別々に射出できるとともに、位相変調素子54a、54bの状態を変更することにより、射出される照明光L5の偏光状態を切り替えることができる。

第1発光部51aをレーザとする場合、上述した回折光制限絞りを用いるときには、第1照明光L1で計測マークWMを照射しても良い。回折光制限絞りによって結像光束のエタングルが小さくなつたとしても、結像光束の輝度が高いため、撮像面19sには十分な光量を確保することができる。一方、第2発光部51bをLEDとして第2照明光L2で計測マークWMを照射する場合、上述した回折光制限絞りを用いなくてもよい。この場合、照明NAが0.4程度で結像NAが0.5程度としても良い。

10

【0083】

なお、計測装置1の光源部50は、図5に示した上述の光源に限られるものではなく、1つまたは複数の発光部と、必要に応じてそれらの発光部から射出される光を合成する合成部を有する光源であれば、どのような光源を使用しても良い。

光源部50は、3つ以上の異なる波長の光を発するものであっても良い。

【0084】

複数の波長の光を発する光源部50を用いる場合、計測マークWMからの各次数の回折光の回折角は、照明光ILの波長毎に異なつた角度になる。従つて、回折光制限絞り31a～31d上における各次数の回折光(Dm2、Dm1、Dp1、Dp2等)の位置も照明光ILの波長毎に異なる。このため、選択開口35a～35dにより複数の波長の光の所定の次数の回折光を選択的に通過させるためには、選択開口35a～35dの計測方向の幅を使用する複数の波長の波長幅に応じて拡大する必要がある。

20

【0085】

図6(a)は、複数の波長の光を発する光源部50を用いる場合の照明開口絞り41aに設けられた透過開口45aの大きさの一例を示す図であり、図6(b)は、回折光制限絞り31aに設けられた選択開口35aの大きさの一例を示す図である。

ここで、光源部50は、波長が1である最小波長から波長が2である最大波長までの波長の光を発するものとし、また、図2(a)に示したようにX方向の周期PXを有する計測マークWMを計測するものとする。

30

【0086】

なお、照明開口絞り41aは照明系20の瞳面またはその近傍に設けられ、回折光制限絞り31aは結像系10の瞳面またはその近傍に設けられている。そこで、図6(a)、図6(b)では、各図中のXY座標を、照明光ILの被計測物Wへの入射角の正弦、または回折光(Dm2、Dm1、Dp1、Dp2等)の被計測物Wからの射出角の正弦に相当するものとして説明する。

【0087】

図6(a)に示したとおり、透過開口45aのX方向の片幅をiNAとし、透過開口45aのX方向の全幅を $2 \times iNA$ としている。なお、透過開口45aのX方向の中心位置は、照明開口絞り41aの中心41acと一致している。

40

【0088】

図6(b)に示したとおり、回折光制限絞り31aには、回折光制限絞り31aのX方向の中心31acから+X方向および-X方向にそれぞれDXだけ離れた位置に選択開口35aが配置されている。ここで、DXの値は $(1 + 2) / (2 \times PX)$ であり、周期PXを有する計測マークWMに、上述の最小波長(1)と最大波長(2)の概ね中間の波長を有する光が照射された際に生じる±1次回折光の回折角の正弦に相当する。

【0089】

そして、選択開口35aのそれぞれのX方向の幅をSXとし、SXは、式(1)を満たすものとしても良い。

$$SX < (3 \times 1 - 2) / PX - 2 \times iNA \quad \dots (1)$$

これにより、選択開口35aは、最小波長(1)から最大波長(2)までの照明光

50

I L の + 1 次回折光 D p 1 および - 1 次回折光 D m 1 を通過させ、撮像部 1 9 に導くことができる。一方、回折光制限絞り 3 1 a は、他の次数の回折光 (D m 2 、 D p 2 等) を遮光する。

【 0 0 9 0 】

なお、この場合においても、選択開口 3 5 a は、 + 1 次回折光 D p 1 および - 1 次回折光 D m 1 を選択的に通過させる代わりに、 + m 次回折光および - m 次回折光等の他の次数の 2 つの回折光を選択的に通過させてても良い。この場合には、 S X は、式 (1) に代えて、式 (2) の条件を満たせばよい。

$$S X < (m + 2) \times 1 - - m \times 2) / P X - 2 \times i N A \quad \dots \quad (2)$$

【 0 0 9 1 】

なお、最小波長 (1) と最大波長 (2) が大きく異なる場合には、上述の方法では、選択開口 3 5 a が + 1 次回折光 D p 1 および - 1 次回折光 D m 1 のみを選択的に通過させることは難しくなる。

ただし、 $1 < 2 \times 1$ 程度の範囲であれば、上述の X 方向に拡張した選択開口 3 5 a により + 1 次回折光 D p 1 および - 1 次回折光 D m 1 のみを選択的に通過させることができる。

【 0 0 9 2 】

なお、例えば偶数次の回折光の強度が奇数次の回折光に比べて十分に小さくなるように計測マーク WM の形状を設定している場合には、上述の X 方向に拡張した選択開口 3 5 a により、 $1 < 2 \times 1$ 程度の範囲まで所望の 2 つの次数の回折光を選択的に通過させることができる。

【 0 0 9 3 】

なお、Y 方向の計測を行う場合には、図 6 (a) および図 6 (b) に示した照明開口絞り 4 1 a および回折光制限絞り 3 1 a を、それぞれ X Y 面内で 90° 回転したものを使用すればよい。

【 0 0 9 4 】

なお、以上の例においては、回折光制限部 3 0 は、それぞれ異なる形状の選択開口 3 5 a ~ 3 5 d を有する複数の回折光制限絞り 3 1 a ~ 3 1 d を備え、選択切換部 3 3 によりこれらを選択して結像光路 1 0 P に挿入するものとしている。しかし、回折光制限部 3 0 の構成はこれに限られるものではなく、例えば、複数の可動ブレードを有し、選択切換部 3 3 がそれぞれの可動ブレードの位置を移動させることにより、選択開口の位置および形状を変更可能な構成であっても良い。

【 0 0 9 5 】

照明開口変更部 4 0 についても同様に、例えば、複数の可動ブレードを有し、照明切換部 4 3 がそれぞれの可動ブレードの位置を移動させることにより、透過開口の位置および形状が変更可能な構成であっても良い。

また、照明開口絞り 4 1 a ~ 4 1 d を用いて照明光 I L の一部を遮光する代わりに、透過開口 4 5 a ~ 4 5 d に相当する位置に照明光 I L を集光させるような光学部材を用いても良い。

なお、照明開口変更部 4 0 を、回折光通過部ということもできる。

【 0 0 9 6 】

なお、上記においては、結像系 1 0 は中間結像面 M P を有し、中間結像面 M P には指標板 1 5 が配置されているものとした。しかし、結像系 1 0 の機械的な剛性や温度安定性が良好である場合には、上述の結像系 1 0 の計測基準位置として、例えば撮像部 1 9 の所定の撮像画素を使用することができるので、指標板 1 5 は必ずしも配置されなくても良い。従って、指標板 1 5 を配置するための中間結像面 M P も形成されなくても良い。

【 0 0 9 7 】

なお、中間結像面 M P に、位置指標 1 6 を設けた指標板 1 5 を配置することにより、結像系 1 0 に機械的または温度的な変形が生じた場合であっても、高精度に計測マーク WM の位置を計測できるという効果がある。

10

20

30

40

50

【0098】

(第1実施形態の計測装置の効果)

(1) 以上の第1実施形態の計測装置は、物体面OPに位置する被計測物Wに対して光(照明光IL)を照射する照明系20と、物体面OPと光学的に共役な共役面CPを形成する結像系10、10a、10bと、被計測物Wからの複数の回折光(Dm2、Dm1、Dp1、Dp2等)のうちの少なくとも一部を制限し、且つ複数の回折光のうち第1回折光+1次回折光Dp1等)と第1回折光とは異なる第2回折光(-1次回折光Dm1等)とを通過させる回折光制限部30と、共役面CPに配置され、第1回折光と前記第2回折光とによって形成される周期的な明暗パターン(像IM)を撮像する撮像部19と、を備える。

この構成により、結像系10、10a、10bの波面収差の影響を受けにくく、高精度な位置計測を行うことができる。

【0099】

(計測装置の変形例1)

計測装置の変形例1においては、複数の波長の光を発する光源部50を用いるとともに、図4(b)に示した回折光制限絞り31a~31dの少なくとも一部に代えて、図7(b)に示した回折光制限絞り31eを用いる。また、図4(a)に示した照明開口絞り41a~41dの少なくとも一部に代えて、図7(a)に示した照明開口絞り41eを用いる。

【0100】

計測装置の変形例1においても、回折光制限絞りeおよび照明開口絞り41e以外の構成については、上述の第1実施形態の計測装置1と同様であるので、同様な構成についての説明は省略する。

【0101】

図7(a)に示した照明開口絞り41eには、中心45ecの近傍に透過開口45f、中心45ecから-Y方向に離れた位置に透過開口45e、および中心45ecから+Y方向に離れた位置に透過開口45gが、それぞれ設けられている。

【0102】

透過開口45fは、照明光ILに含まれる光のうちの第1波長の光を透過させる。透過開口45eは、照明光ILに含まれる光のうちの第1波長より波長の短い第2波長の光を透過させる。そして、透過開口45gは、照明光ILに含まれる光のうちの第1波長より波長の長い第3波長の光を透過させる。

【0103】

透過開口45e、45f、45gのいずれかを透過した照明光ILは、レンズ22、24、ミラー23、および分岐ミラー25に導かれて、計測マークWMに照射される。透過開口45fを透過した第1波長の光は概ね垂直上方から計測マークWMに入射する。上述したレンズ22、24の結像作用により、透過開口45eを透過した第2波長の光は、垂直上方に対して-Y方向に傾いた方向から計測マークWMに入射する。また、透過開口45gを透過した第3波長の光は、垂直上方に対して+Y方向に傾いた方向から計測マークWMに入射する。

【0104】

異なる波長を有する複数の照明光ILの計測マークWMへのY方向の入射角度をそれぞれずらすことにより、計測マークWMから発生する回折光の射出角度も波長に応じてずれたものとなる。これにより、回折光制限絞り31eにおいて各次数の回折光が集光する位置を、波長毎にY方向にずらすことができる。

【0105】

そこで、図7(b)に示した回折光制限絞り31eでは、Y方向のそれぞれ異なる位置に、それぞれX方向に対となって配置される選択開口35e、35f、35gが設けられている。2つの選択開口35eのX方向の間隔は2つの選択開口35fのX方向の間隔より短く、2つの選択開口35gのX方向の間隔は2つの選択開口35fのX方向の間隔よ

10

20

30

40

50

り長い。

【0106】

図2(a)に示した計測マークWMを計測する場合、透過開口45fを透過した第1波長の照明光ILは計測マークWMに概ね垂直に入射し、その+1次回折光Dp1および-1次回折光Dm1は回折光制限絞り31eの選択開口35fを通過して撮像部19に至る。

【0107】

透過開口45eを透過した第2波長の照明光ILは-Y方向に傾いた方向から計測マークWMに入射し、その+1次回折光Dp1および-1次回折光Dm1は回折光制限絞り31eの選択開口35eを通過して撮像部19に至る。

透過開口45gを透過した第3波長の照明光ILは+Y方向に傾いた方向から計測マークWMに入射し、その+1次回折光Dp1および-1次回折光Dm1は回折光制限絞り31eの選択開口35gを通過して撮像部19に至る。

【0108】

従って、計測装置の変形例1においては、回折光制限絞り31eおよび照明開口絞り41eを用いることにより、複数の波長の光を発する光源部50を用いた場合にも、計測マークWMからの+1次回折光Dp1と-1次回折光Dm1を選択的に通過させることができる。これにより、撮像部19に計測マークWMの良好な像を形成させることができる。光源部50は、上述の複数の異なる波長の光(第1波長の光～第3波長の光)を同時に射出しても良い。

【0109】

あるいは、所定時間毎に射出する光の波長を異ならせてても良い。すなわち、第1期間には第1波長の光を照射し、第1期間とは異なる第2期間に第2波長の光を照射しても良い。この場合には、撮像部19は、上述の第1期間と第2期間とにそれぞれ撮像を行うことにより、計測マークWMの像を異なる波長毎に別々に撮像することができる。従って、計測マークWMの位置を異なる波長毎に別々に計測し、それらの計測結果に平均化等の統計処理を施すことにより、より高精度な計測を行うことができる。

また、中間結像面MPの位置で、非計測方向に分光しても良い。

【0110】

なお、図2(a)に示した計測マークWMをXY面内で90°回転させたY方向の計測に適したマークのY位置を計測する場合には、上述の回折光制限絞り31eおよび照明開口絞り41eをそれぞれ90°回転した形状の回折光制限絞りおよび照明開口絞りを使用すれば良い。

【0111】

(計測装置の変形例1の効果)

(2)以上の計測装置の変形例1は、物体面OPに位置する被計測物Wに対して複数の波長の光を照射する照明系20と、物体面OPと光学的に共役な共役面CPを形成する結像系10と、被計測物Wからの複数の回折光(Dm2、Dm1、Dp1、Dp2等)のうち、第1回折光(+1次回折光Dp1等)と第1回折光とは異なる第2回折光(-1次回折光Dm1等)とを通過させる回折光通過部(回折光制限部30)と、共役面CPに配置され、回折光通過部を通過した複数の波長の光によって形成される被計測物Wの明暗パターン(像IM)を撮像する撮像部19とを備えている。

この構成により、上述の第1実施形態の計測装置1と同様な効果を有するとともに、複数の波長の光を用いることにより、より高精度な計測ができるという効果を有している。例えば、計測マークの凹凸の段差に起因して、ある波長では計測マークの像コントラストが良好であるが別の波長では計測マークの像コントラストが弱くなるような場合に有効である。

【0112】

(計測装置の変形例2)

以下、計測装置1の変形例2について説明する。計測装置1の変形例2の構成は、上述の第1実施形態の計測装置1または変形例1の構成とほとんど共通するので、以下では第

10

20

30

40

50

1 実施形態の計測装置 1 または変形例 1 との相違点についてのみ説明し、共通部分については同一の符号を付して適宜説明を省略する。

【 0 1 1 3 】

図 8 は、変形例 2 の計測装置 1 のうち、上述の第 1 実施形態の計測装置 1 の指標板 1 5 以降の結像系 1 0 に対応する部分を概略的に示す図である。変形例 2 においては、第 2 リレーレンズ 1 3 と第 3 リレーレンズ 1 4 a との間に、ビームスプリッタ 1 7 が配置されている。従って、+ 1 次回折光 D p 1 および - 1 次回折光 D m 1 等の回折光は、ビームスプリッタ 1 7 によりそれぞれ 2 つに分割される。

【 0 1 1 4 】

分割された回折光の一方 (D p 1 a 、 D m 1 a) はビームスプリッタ 1 7 を直進して、第 3 リレーレンズ 1 4 a により集光されて、第 1 撮像部 1 9 a の撮像面 1 9 a s 上に、計測マーク WM の像 I M を形成する。分割された回折光の他方 (D p 1 b 、 D m 1 b) はビームスプリッタ 1 7 により反射され、第 3 リレーレンズ 1 4 b により集光されて、第 2 撮像部 1 9 b の撮像面 1 9 b s 上に、計測マーク WM の像 I M を形成する。

【 0 1 1 5 】

対物レンズ 1 1 (図 1 参照) から指標板 1 5 およびビームスプリッタ 1 7 等を経て第 3 リレーレンズ 1 4 a に至る光学系は 1 つの結像系 1 0 a を構成している。同様に、対物レンズ 1 1 から指標板 1 5 およびビームスプリッタ 1 7 を経て第 3 リレーレンズ 1 4 b に至る光学系は別の結像系 1 0 b を構成している。すなわち、変形例 2 の計測装置 1 は、複数の結像系 1 0 a 、 1 0 b を有している。

【 0 1 1 6 】

第 1 撮像部 1 9 a の撮像面 1 9 a s は、結像系 1 0 a の物体面 O P に対する共役面 C P a の近傍に配置されている。第 2 撮像部 1 9 b の撮像面 1 9 b s は、結像系 1 0 b の物体面 O P に対する共役面 C P b の近傍に配置されている。

【 0 1 1 7 】

ただし、撮像面 1 9 a s の共役面 C P a に対する Z 方向の位置ずれ量は、撮像面 1 9 b s の共役面 C P b に対する X 方向の位置ずれ量とは、異なっている。

換言すれば、共役面 C P a に対する第 1 撮像部 1 9 a の撮像面 1 9 a s の共役面 C P a と交差する方向の相対位置は、共役面 C P b に対する第 2 撮像部 1 9 b の撮像面 1 9 b s の共役面 C P b と交差する方向の相対位置とは異なっている。

【 0 1 1 8 】

従って、変形例 2 の計測装置 1 においては、一例として、撮像面 1 9 a s に形成される像は、物体面 O P および物体面 O P から - Z 方向にずれた位置に配置される計測マーク WM に対して良好なコントラストとなる。一方、撮像面 1 9 b s に形成される像は、物体面 O P および物体面 O P から + Z 方向にずれた位置に配置される計測マーク WM に対して良好なコントラストとなる。

【 0 1 1 9 】

この結果、計測マーク WM が物体面 O P から $\pm Z$ 方向にずれて配置されていても、複数の結像系 1 0 a 、 1 0 b のいずれかにより計測マーク WM の良好な像を検出し、その結果、計測マーク WM を精度良く計測することが可能となる。

【 0 1 2 0 】

以上では、2 つの結像系 1 0 a 、 1 0 b を備える例を説明したが、複数のビームスプリッタ 1 7 を直列に配置するなどにより、3 つの結像系を備えていても良い。

また、複数の結像系 1 0 a 、 1 0 b の光路を分岐させるビームスプリッタ 1 7 が配置される位置は、上述の第 2 リレーレンズ 1 3 と第 3 リレーレンズ 1 4 との間に限られるわけではない。光路を分岐させるビームスプリッタ 1 7 は、例えば指標板 1 5 よりも対物レンズ 1 1 側に配置されていても良く、回折光制限部 3 0 よりも対物レンズ 1 1 側に配置されていても良い。これらの場合には、指標板 1 5 または回折光制限部 3 0 を、複数の結像系 1 0 a 、 1 0 b のそれぞれに配置すれば良い。

【 0 1 2 1 】

10

20

30

40

50

(第2実施形態の露光装置)

図9は、第2実施形態の露光装置2の概略を示す図である。第2実施形態の露光装置2は、半導体ウエハまたは表示デバイス用の基板(以下、合わせて「基板」と呼ぶ)WFの表面(+Z側面)上に形成されたフォトトレジスト(不図示)に、明暗パターンを露光転写するための露光装置である。

【0122】

露光装置2は、上述の第1実施形態または変形例の計測装置1の一部を計測装置1aとして備えている。計測装置1aは、第1実施形態または変形例の計測装置1のうち、結像系10、照明系20、回折光制限部30、撮像部19および光源部50を含む部分である。なお、露光装置2のうち、制御部60、試料台70、ガイド71、スケール板72、エンコーダ61の構成および機能は、第1実施形態または変形例の計測装置1に含まれているそれらの構成および機能と同様であるので、説明を適宜省略する。

計測装置1は、基板WFを上述の被計測物Wとして扱い、基板WFの表面に形成されている計測マークWM(図1参照。図9には不図示)の位置を計測する。

【0123】

露光装置2に搬入された基板WFは、ガイド71上で可動な試料台70上に載置され、試料台70の移動により計測装置1aの下方に配置される。制御部60は、制御信号S3を送り試料台70をXY面内で移動させ、基板WFの表面の複数箇所に配置されている計測マークWMを、順次、計測装置1aの結像系10の直下に配置し、上述した手法により計測マークWMの位置を計測する。

【0124】

制御部60は、既知である計測マークWMと既存回路パターンとの位置関係、および計測装置1aにより計測された計測マークWMの位置に関する情報に基づいて、基板WF上の既存回路パターンのX位置およびY位置に関するマップデータを作成する。

【0125】

続いて、制御部60は、基板WFが露光光学系80の下に配置されるように、試料台70をXY面内で移動させ、基板WFの表面に形成されているフォトトレジスト(不図示)への露光を行う。露光は、いわゆるステップ露光であっても良く、スキャン露光であっても良い。

【0126】

露光中の試料台70のX位置およびY位置は、試料台70に設けられているスケール板72の位置を介して、露光光学系80と一体的に保持されているエンコーダ61aにより計測され、位置信号S2aとして制御部60に伝達される。制御部60は、位置信号S2aおよび上述のマップデータに基づいて、試料台70のX位置およびY位置を制御する。

【0127】

上述の露光動作においては、マスク83上に描画されている原版(マスクパターン)に露光光源81からの照明光が、露光照明系82を介して照射される。その結果、露光光路AXP上に配置されている露光光学系80を介して、原版の像が基板WF上のフォトトレジスト(不図示)に投影され、フォトトレジストに明暗パターンが露光される。

【0128】

露光動作がスキャン露光の場合には、露光動作中に、マスク83と基板WFは同期して露光光学系80に対して相対走査する。この走査のために、マスク83はマスクステージ84上に載置され、マスクステージ84はマスク定盤85上をX方向に移動可能となっている。マスクステージ84の位置は、基準ミラー86の位置を介して、干渉計87により計測される。

露光動作がステップ露光の場合には、1ショットの露光中には試料台70は静止され、各ショットの間に試料台70はX方向またはY方向に所定距離だけ移動する。

【0129】

露光光学系80は、露光光学系80と基板WFの間に液体が配置される、いわゆる液浸用の光学系であっても良い。または、露光装置2は、光または紫外線により露光を行う装

10

20

30

40

50

置に限らず、電子線またはX線により露光を行う装置であっても良い。

露光装置2は、計測装置1aを複数備え、基板WF上の複数の計測マークWMを同時に計測可能であっても良い。

【0130】

(第2実施形態の露光装置の効果)

(3) 第2実施形態の露光装置2は、上述の第1実施形態、変形例1または変形例2の計測装置と、被計測物W(基板WF)を含む物体に露光光を照射する露光光学系80と、を備えている。

この構成により、基板WF上に形成されている計測マークWMの位置を高精度に計測することができ、従って、基板WF上に形成されている既存の回路パターンに対して、高精度に位置を整合させて、明暗パターンを露光することができる。

10

【0131】

(その他変型例)

上述した説明では、図2(b)に示したように、被計測物Wの表面WSが膜RSで直接覆われている。しかしながら、図10に示すように、被計測物Wの計測マークWMの凹部MBに第1の種類の媒質ML1が埋め込まれており、その上を第1の種類とは異なる第2の種類の媒質ML2が覆っており、その第2の種類の媒質ML2の上に膜RSが形成されている構成であっても良い。ここで、第2の種類の媒質ML2の膜厚がプロセスによって変化する可能性がある。撮像面19s上に形成される計測マークWMの像のコントラストは、この媒質ML2の膜厚の変化によって変わってくる。この場合、計測マークWMの像のコントラストが良好となる波長域の照明光を用いて、マーク計測を行えば良い。

20

【0132】

本発明は以上の内容に限定されるものではない。本発明の技術的思想の範囲内で考えられるその他の態様も本発明の範囲内に含まれる。本実施形態は、上記した態様の全て又は一部を組み合わせてもよい。

【符号の説明】

【0133】

1, 1a: 計測装置、10, 10a, 10b: 結像系、11: 対物レンズ、15: 指標板、16: 位置指標、19: 撮像部、OP: 物体面、CP: 共役面、MP: 中間結像面、20: 照明系、40: 照明開口変更部、41a~41e: 照明開口絞り、30: 回折光制限部、31a~31e: 回折光制限絞り、33: 選択切換部、50: 光源部、60: 制御部、W: 被計測物W、WM, WMa, WMb: 計測マーク、2: 露光装置、80: 露光光学系、81: 露光光源、82: 露光照明系

30

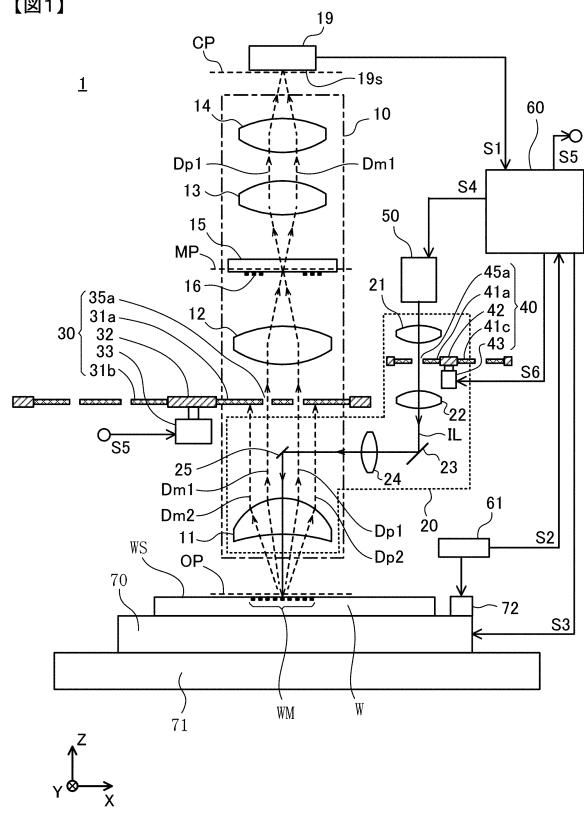
40

50

【図面】

【図 1】

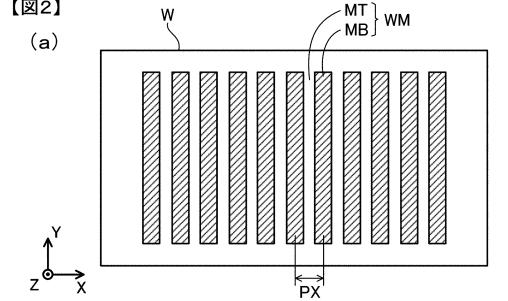
【図1】



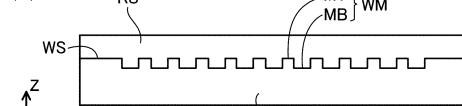
【図 2】

【図2】

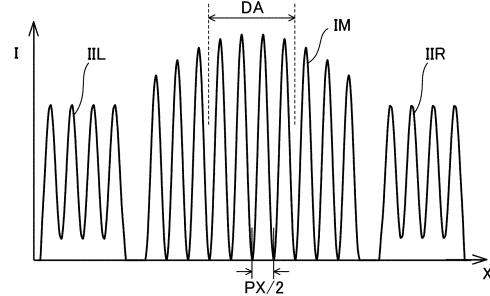
(a)



(b)

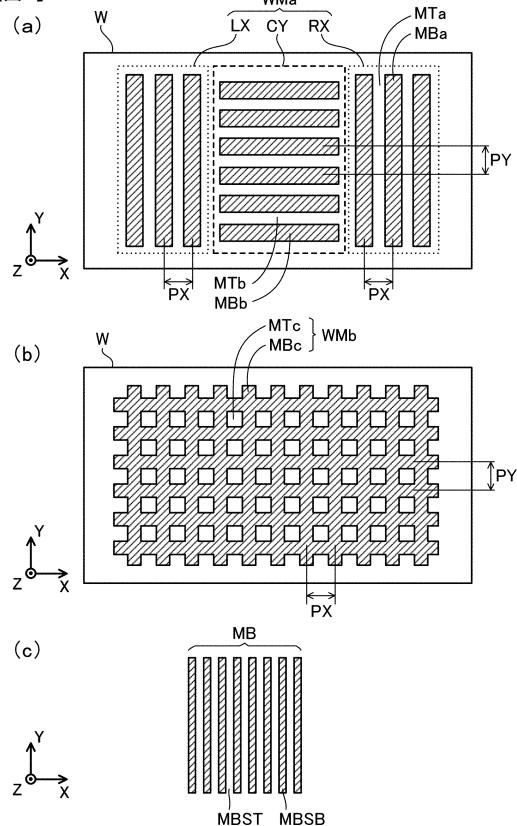


(c)



【図 3】

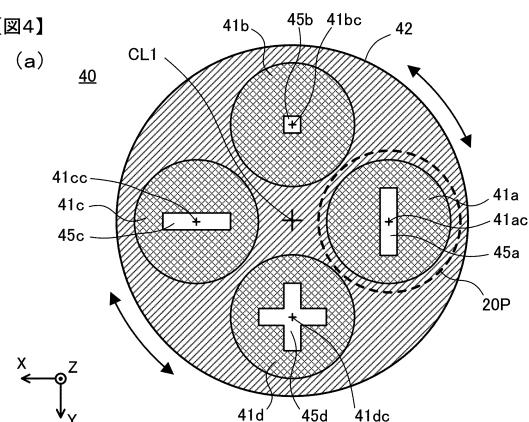
【図3】



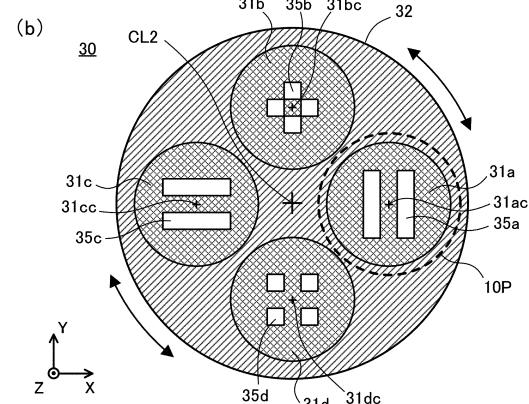
【図 4】

【図4】

(a)



(b)



10

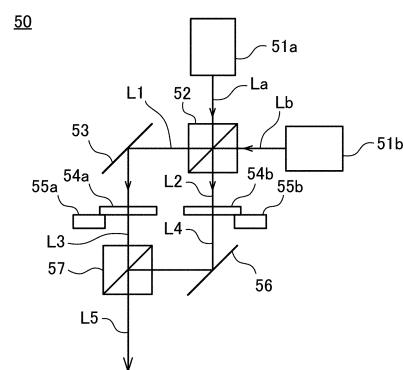
20

30

40

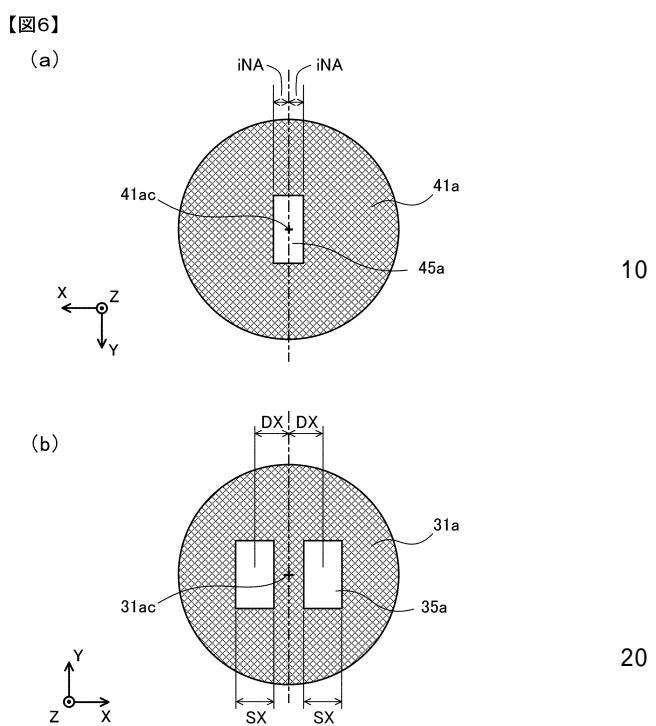
50

【図5】



【図5】

【図6】



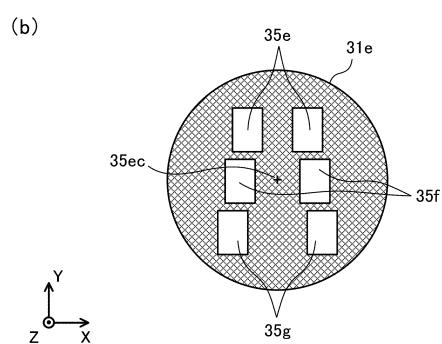
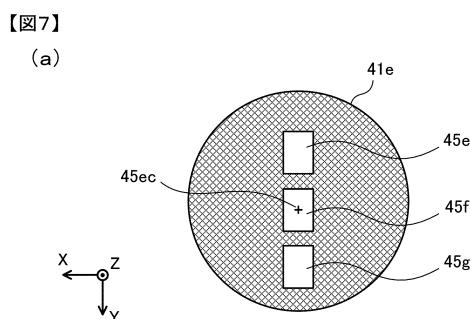
10

20

30

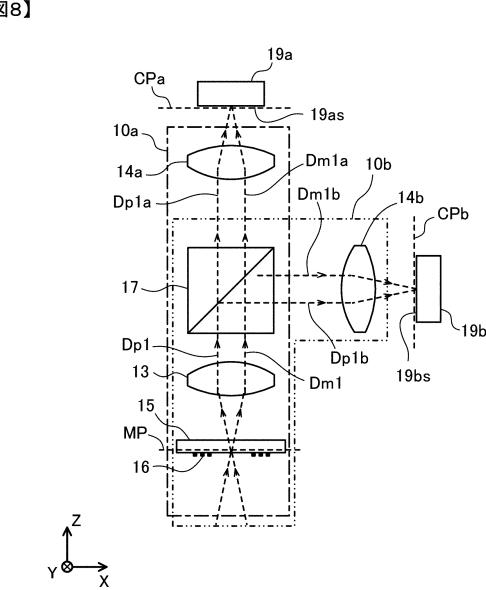
40

【図7】



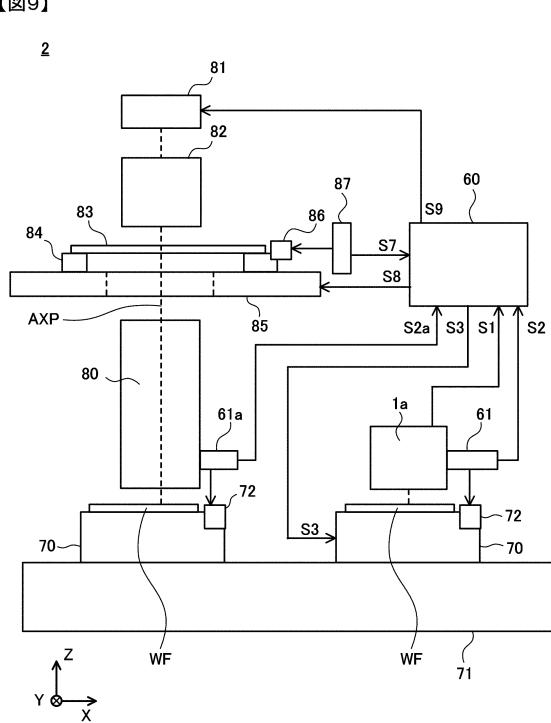
【図7】

【図8】

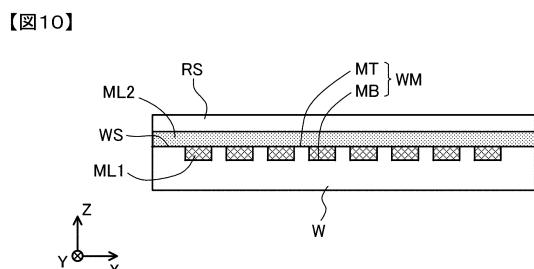


50

【図9】



【図10】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

審査官 櫻井 仁

(56)参考文献 特開2001-338871 (JP, A)

特開2016-100365 (JP, A)

特開平09-034134 (JP, A)

特開昭62-237726 (JP, A)

米国特許出願公開第2004/0257525 (US, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , DB名)

G 01 B 11/00 - 11/30